

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN GEOLOGÍA Y
PETRÓLEOS**

**“CLASIFICACIONES GEOMECÁNICAS DEL MACIZO ROCOSO Y
APLICACIONES PARA EL TÚNEL DE CONDUCCIÓN DEL
PROYECTO HIDROELÉCTRICO “SAN FRANCISCO”**

**PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO GEÓLOGO.**

PATRICIO ISAIAS ZAMORA PACHECO

DIRECTOR: ING. GALO PLAZA

Quito, Octubre de 2007

DECLARACIÓN

Yo, Patricio Zamora Pacheco, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido en la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

PATRICIO ISAÍAS ZAMORA PACHECO

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por el Señor Patricio Isaías Zamora Pacheco, bajo mi supervisión

Ing. Galo Plaza
DIRECTOR DEL PROYECTO

TABLA DE CONTENIDO

CAPÍTULO 1.

INTRODUCCIÓN

1.1 ANTECEDENTES	1
1.2 UBICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO	2
1.3 CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL TÚNEL DE CONDUCCIÓN	3
1.4 OBJETIVOS DEL ESTUDIO	6
1.4.1 OBJETIVO GENERAL	6
1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	6
1.5 METODOLOGÍA	7
1.6 ALCANCE DEL TRABAJO	8

CAPITULO 2.

GEOLOGÍA REGIONAL Y LOCAL

2.1 MARCO GEOLÓGICO REGIONAL	10
2.1.1 LITOLOGÍA	10
2.1.1.1 Unidad Agoyán	11
2.1.1.2 Unidad Cuyuja	12
2.1.1.3 Unidad Cerro Hermoso (J?)	12
2.1.1.4 Granitos Azafrán (JK).	13
2.1.1.5 Formaciones Superficiales	13
2.1.1.5.1 Depósitos Volcánicos.	14
2.1.1.5.2 Depósitos Aluviales	14
2.1.2 VOLCANISMO DE LA ZONA DE ESTUDIO Y PELIGROS ASOCIADOS	14
2.1.3 SISMICIDAD DE LA ZONA DE ESTUDIO.	15
2.1.4 ESTRUCTURAS GEOLÓGICAS.	17
2.2 GEOLOGÍA LOCAL	21
2.2.1 GEOMORFOLOGÍA	21
2.2.2 ROCAS DEL BASAMENTO	22
2.2.2.1 Unidad 1: Esquistos cuarzo micáceos grafitosos	22
2.2.2.2 Unidad 2: Esquistos negros y esquistos grafitosos	25
2.2.2.3 Unidad 3: Esquistos y gneis cloríticos sericíticos	27
2.2.2.4 Unidad 4: Esquistos y gneis de plagioclasa cuarzo y moscovita	28
2.2.2.5 Unidad 5: Gneis y esquistos de cuarzo – feldespato y biotita	30
2.2.2.6 Unidad 6: Gneis y esquistos cloríticos	32
2.2.2.7 Unidad 7: Granito orientado	35
2.2.3 FORMACIONES SUPERFICIALES	38
2.2.3.1 Coladas de Lava	38
2.2.3.2 Aluviales Antiguos	38
2.2.3.3 Aluviales Modernos	39
2.2.3.4 Terrazas Aluviales	39
2.2.3.5 Conos de Deyección	40
2.2.3.6 Depósitos Coluviales	40

CAPITULO III. CLASIFICACIONES GEOMECÁNICAS DEL MACIZO ROCOSO DEL TÚNEL DE CONDUCCIÓN

3.1 INTRODUCCIÓN.	41
3.2 CLASIFICACIONES GEOMECÁNICAS UTILIZADAS.	41
3.2.1 DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE RMR	43
3.2.2 DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE Q.	64
3.3 ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA DEL TÚNEL DE CONDUCCIÓN	79
3.3.1 ZONA 1: TRAMO DE ESQUISTOS CUARZO MICÁCEOS GRAFITOSOS	80
3.3.2 ZONA 2: TRAMO DE ESQUISTOS NEGROS Y ESQUISTOS GRAFITOSOS	81
3.3.3 ZONA 3: TRAMO DE ESQUISTOS Y GNEIS	82
3.3.4 ZONA 4: TRAMO DE GNEIS Y ESQUISTOS	83
3.3.5 ZONA 5: TRAMO DE GRANITO ORIENTADO.	84
3.3.6 ZONA 6: TRAMO DE MACIZO FALLADO.	85
3.4 EVALUACIÓN DEL SOPORTE PARA EL TÚNEL	85
3.4.1 EVALUACIÓN DEL SOPORTE CON EL ÍNDICE RMR.	85
3.4.2 EVALUACIÓN DEL SOPORTE CON EL ÍNDICE Q.	86

CAPITULO IV RELACIONES ENTRE LA VELOCIDAD DE PENETRACIÓN DEL TBM Y LAS CARACTERÍSTICAS GEOMECANICAS DEL MACIZO ROCOSO EN EL TUNEL DE CONDUCCION

4.1 INTRODUCCIÓN	92
4.1.1 TUNNELLING BORING MACHINE (TBM)	93
4.2 CARACTERÍSTICAS DEL TBM UTILIZADO PARA LA EXCAVACIÓN DEL TÚNEL DE CONDUCCIÓN	95
4.3 PARÁMETROS MECÁNICOS REGISTRADOS EN EL TBM	96
4.4 CARACTERÍSTICAS GEOMECÁNICAS DEL MACIZO ROCOSO EXCAVADO CON TBM.	99
4.5 RELACIÓN ENTRE LA VELOCIDAD DE PENETRACIÓN DEL TBM Y EL ÍNDICE Q_{TBM} (MODIFICADO).	100
4.5.1 ÍNDICE Q_{TBM}	100
4.5.2 DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE Q_{TBM} (MODIFICADO)	101
4.5.3 PREDICCIÓN DE VELOCIDADES DE PENETRACIÓN PARA EL TRAMO DE TÚNEL NO EXCAVADO.	108

CAPITULO 5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES	115
5.2 RECOMENDACIONES	118

ANEXOS

- ANEXO 1 DESCRIPCIONES PETROGRAFICAS
- ANEXO 2 ORIENTACIONES DE DISCONTINUIDADES OBSERVADAS EN SUPERFICIE
- ANEXO 3 ENSAYOS DE PERMEABILIDAD LUGEON Y CALCULO DE INFILTRACIONES
- ANEXO 4 INDICE RMR
- ANEXO 5 INDICE Q
- ANEXO 6 ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESION SIMPLE Y CARGA PUNTUAL
- ANEXO 7 RESULTADO DE LAS OBSERVACIONES DEL TERRENO EN SUPERFICIE PARA LA CLASIFICACIÓN RMR E ÍNDICE Q
- ANEXO 8 CARACTERISTICAS GEOLOGICA-GEOTECNICAS DEL MACIZO ROCOSO EN EL TRAMO EXCAVADO CON TBM
- ANEXO 9 VALORACIÓN DEL INDICE Q EN TRAMO DE TUNEL EXCAVADO
- ANEXO 10 EVALUACION DEL INDICE Q_{TBM} (Modificado)
- ANEXO 11 CALCULO DE DUREZA VICKERS Y MOH'S DE LAS ROCAS
- ANEXO 12 MAPAS
- MAPA 1: MAPA GEOLOGICO
 - MAPA 2: MAPA DE UBICACION DE SONDEOS Y MUESTRAS
 - MAPA 3: PERFIL Y ZONIFICACION GEOTECNICA DEL TUNEL DE CONDUCCION

RESUMEN

El Proyecto Hidroeléctrico “San Francisco” localizado en las estribaciones de la cordillera Real, en la provincia del Tungurahua, integra en el diseño la construcción del túnel de Conducción por la margen izquierda del río Pastaza de 11100 metros de longitud y cobertura vertical que varía entre 62 m hasta 878 m. La sección típica del túnel depende del método de excavación. Para el método de excavación a perforación y voladura se utilizó una sección en forma de herradura con paredes 4.13 m de altura y una bóveda de 7.54 m de diámetro; para la excavación mecanizada utilizando un TBM (Tunnelling Boring Machine), una sección circular de 7.04 m de diámetro.

El túnel de Conducción atraviesa terrenos metamórficos paleozoicos compuestos por esquistos y gneis intruidos por granitos, de las Unidades Agoyán, Cuyuja, Cerro Hermoso y Granitos Azafrán.

Se aplicaron dos sistemas de Clasificación Geomecánica del macizo rocoso en el trazado del túnel de Conducción utilizando los Índice Q, e Índice RMR. En base a los resultados se determinaron cinco clases de sostenimiento del macizo para la excavación utilizando el sistema de clasificación Q, dependiendo de la necesidad de sostenimiento para los seis zonas geotécnicas establecidas; Zona 1: Tramo de esquistos cuarzo micáceos grafitosos entre las abscisas 0+000 a 0+737; Zona 2: Tramo de esquistos negros y esquistos grafitosos entre las abscisas 0+737 a 1+370; Zona 3: Tramo de esquistos y gneis entre las abscisas 1+370 a 3+820; Zona 4: Tramo de gneis y esquistos entre las abscisas 3+820 a 8+884; Zona 5: Tramo de granito orientado entre las progresivas 8+884 a 11+100; Zona 6: Tramo de macizo fallado, determinado para los sectores afectados por fallas.

Aprovechando 1950 m de túnel excavado con TBM entre las abscisas 7+454 a 9+404 se determinó una relación empírica entre las propiedades geotécnicas del macizo y parámetros mecánicos utilizados por el TBM, que establece el desempeño del TBM por medio de la velocidad de penetración de la máquina en el macizo rocoso durante el proceso de excavación. Gracias a esto se pronosticó rangos de velocidades de penetración, en el macizo en base a la zonificación geotécnica.

CAPÍTULO 1.

INTRODUCCIÓN

1.1 ANTECEDENTES

Debido al aumento del consumo de energía eléctrica observado en el Ecuador en los últimos 20 años, el estado ecuatoriano decidió ampliar su capacidad energética, por esta razón en el año 2003 se empezaron las labores para la construcción del Proyecto Hidroeléctrico "San Francisco".

Los primeros estudios en la zona los inició El Instituto Ecuatoriano de Electrificación (INECEL) en 1975, con un levantamiento topográfico; posteriormente en 1976, INTECSA de España realizó para INECEL el informe "Evaluación de los recursos hidroeléctricos en la cuenca del río Pastaza", dentro de los cuales incluye parcialmente el área del Proyecto "San Francisco".

En 1978, INECEL preparó un informe de diseño previo a la construcción del Proyecto Agoyán en el que se incluye la zona de Agoyán del Proyecto San Francisco.

En 1982 – 1983, TRASINCA CONSULT efectuó los estudios de Factibilidad del Proyecto, y entre 1987 a 1989 INECEL efectuó investigaciones previas a la etapa de diseño que involucraban trabajos de geología, sondeos mecánicos, excavación de pozos y galerías, geofísica (sísmica de refracción y sondeos eléctricos verticales), ensayos de mecánica de rocas y ensayos de mecánica de suelos.

El diseño de este proyecto, contempla la construcción de un túnel, que permite la conducción de las aguas turbinadas desde la casa de máquinas del Proyecto Hidroeléctrico "Agoyán", hasta la nueva casa de máquinas del Proyecto "San Francisco".

El autor de este proyecto de titulación intervino como parte del equipo de consultoría integrado por Proyectos y Consultorias de Engenharia Ltda. (PCE de Brasil) – Caminos y Canales Ltda. (CAMINOSCA del Ecuador), para la construcción del túnel de conducción del Proyecto Hidroeléctrico “San Francisco”, encargado de clasificar el macizo rocoso durante la etapa de excavación de los diferentes frentes de trabajo. Las empresas citadas permitieron la utilización de los datos disponibles, con el fin de preparar el presente Proyecto de Titulación previo a la obtención del Título de Ingeniero Geólogo.

1.2 UBICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO.

La zona de estudio comprende el trazado del Túnel de Conducción del Proyecto Hidroeléctrico San Francisco, el cual se encuentra ubicado en las estribaciones orientales de la Cordillera Real de los Andes ecuatorianos, a 140 km al sur de la ciudad de Quito, capital del Ecuador, entre 10 a 20 km al este de la ciudad de Baños de Agua Santa, en la Provincia de Tungurahua, a lo largo de la margen izquierda del río Pastaza. (Figura 1.1)

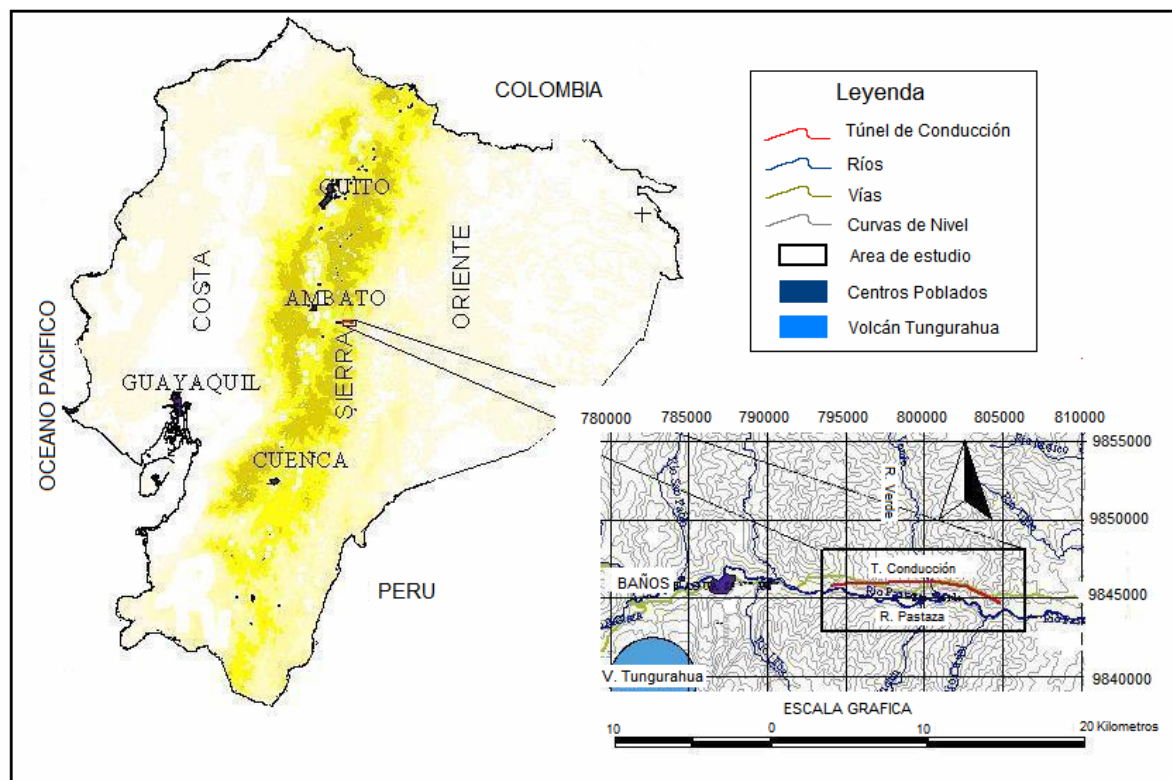


Figura 1.1 Ubicación regional del túnel de Conducción del Proyecto Hidroeléctrico “San Francisco”

1.3 CARACTERISTICAS GENERALES DEL TÚNEL DE CONDUCCIÓN

El Proyecto Hidroeléctrico “San Francisco” consiste en el aprovechamiento de las aguas turbinadas del Proyecto Hidroeléctrico “Agoyán” para generar 230 MW. El agua es tomada de los túneles de descarga del Proyecto “Agoyán” y llevada a la casa de máquinas del proyecto “San Francisco” a través de un Túnel de Conducción, cuyo abscisado es el siguiente: 0+000 en la interconexión con la Casa de Máquinas Agoyán coordenadas 9845734 N – 794118 E (Figura 1.2), y continúa por la margen izquierda aguas abajo del río Pastaza, cerca de la población de San Francisco en la abscisa 11+100 coordenadas 9844505 N – 804909 E .

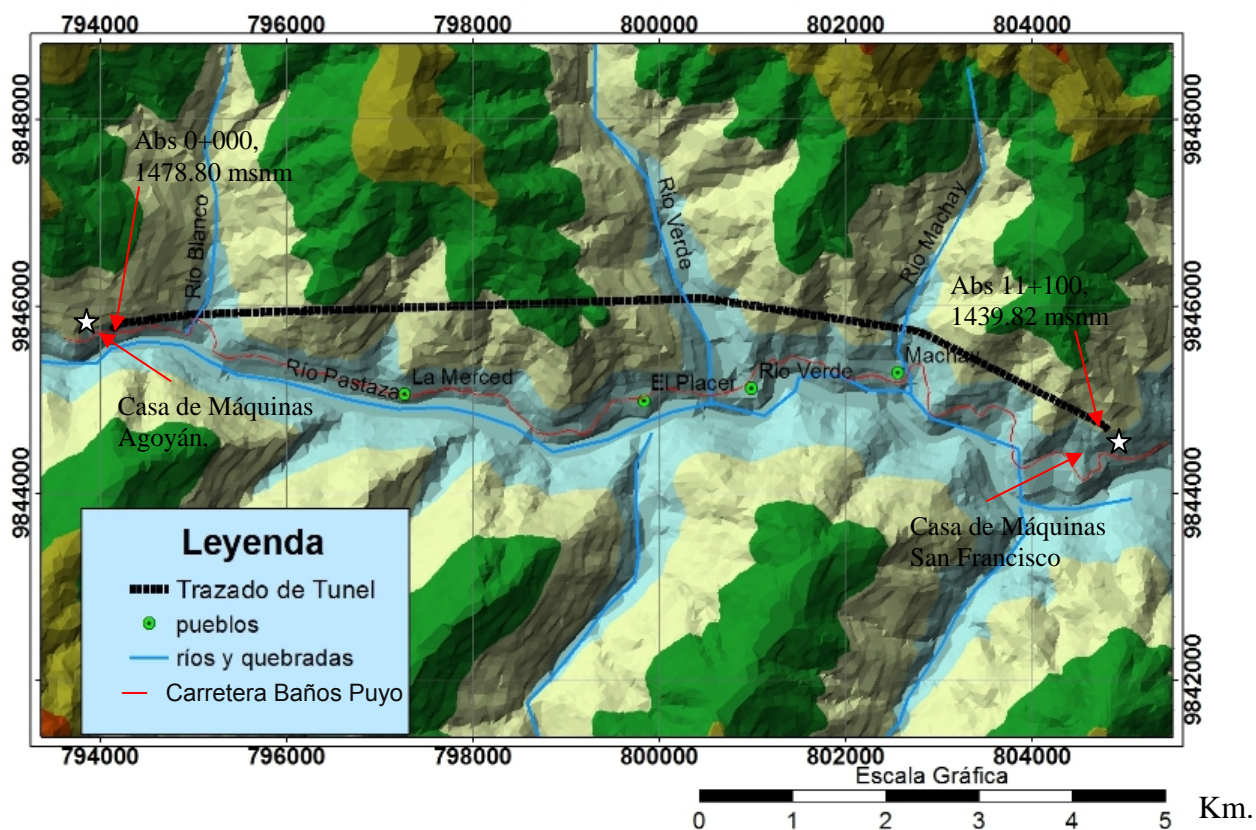


Figura 1.2 Ubicación local del túnel de Conducción del Proyecto Hidroeléctrico “San Francisco”

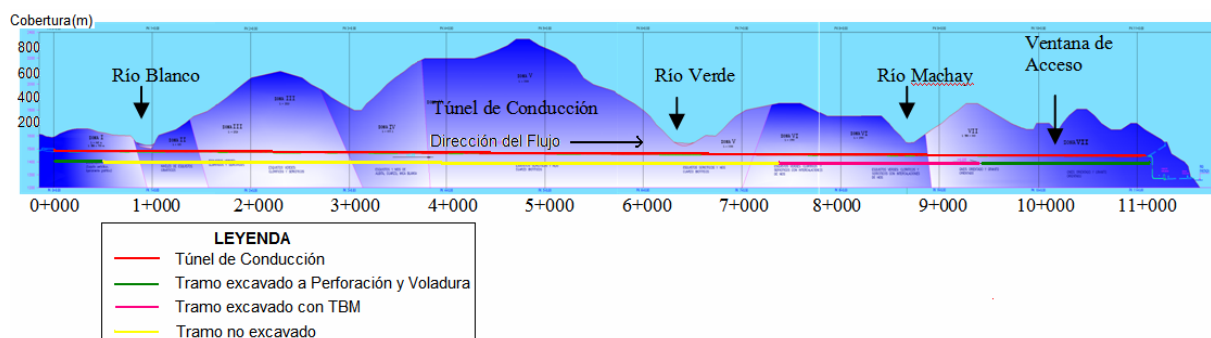


Figura 1.3 Perfil Esquemático de la zona de influencia del Túnel de Conducción

El túnel tiene una longitud de 11100 metros con una cobertura vertical que varía de 62 m debajo del río Verde, hasta 878 metros en la abscisa 4+800 (Figura 1.3). El eje del túnel tiene un rumbo $N40^{\circ}E$ desde las abscisa 0+000, hasta 0+139, luego tiene una orientación $N83^{\circ}E$ hasta la abscisa 6+480, continua con un rumbo $S81^{\circ}E$ hasta 8+750, posteriormente toma una orientación $S62^{\circ}E$ hasta la

abscisa 10+970, y por último toma una dirección S29°E hasta la progresiva 11+100 con radios de curvatura de 150 a 600 m (Figura 1.2).

Para efectos de construcción se excavó una ventana de acceso que intercepta el túnel de Conducción en la abscisa 10+337, desde este punto se abrió 2 frentes con método de excavación mediante perforación y voladura, el primero hacia el final del túnel 11+100 y el segundo hasta la abscisa 9+404, desde donde empezó a perforar el TBM hacia la abscisa 0+404. El tercer frente de excavación se realizó a perforación y voladura desde la abscisa 0+000 hasta 0+404.

Para la realización de este trabajo se tomaron datos de campo para la clasificación geomecánica en 4050 m de túnel excavado, a continuación se muestra los tramos analizados con sus respectivos métodos de excavación:

- Tramo entre las abscisas 0+000 – 0+404, método de excavación mediante perforación y voladura
- Tramo entre las abscisas 7+454 – 9+404, excavado con TBM (Tunnelling Boring Machine)
- Tramo entre las abscisas 9+404 a 11+100, método de excavación mediante perforación y voladura

Las secciones de excavación utilizadas para los dos métodos de excavación se presentan en la Figura 1.4. Para el método de perforación y voladura, la sección típica será de forma de herradura, las paredes tendrán una altura de 4.13 m y la bóveda un radio de 3.77 m, alcanzando una altura total de 7.9 m y un ancho de 7.55 m. Para la excavación con TBM, la sección es circular con diámetro de 7.04 m.

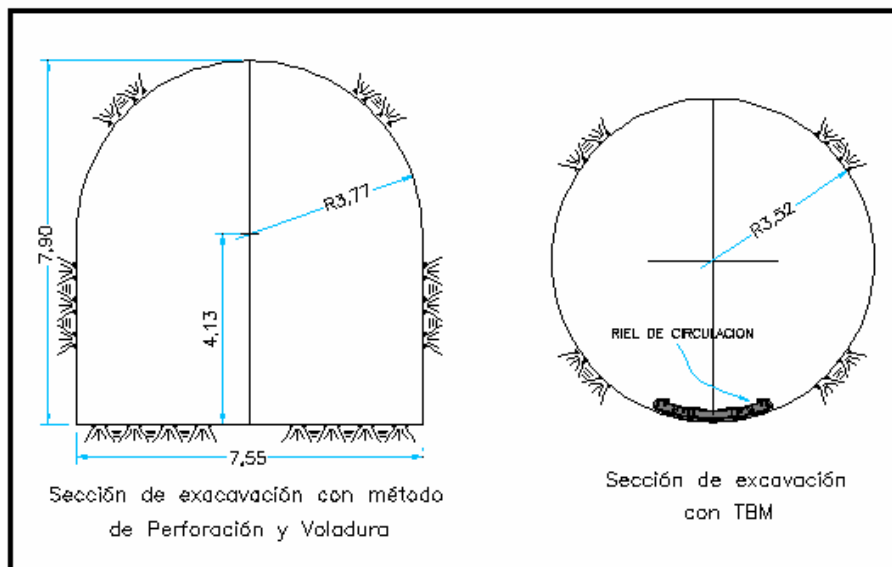


Figura 1.4 Secciones típicas del Túnel de Conducción, dependiendo del método de excavación

1.4 OBJETIVOS DEL ESTUDIO

1.4.1 OBJETIVO GENERAL

El objetivo general es conocer las características ingenieriles del macizo rocoso del trazado del túnel de Conducción del Proyecto San Francisco, a través de las clasificaciones geomecánicas, y determinar su aplicación en los métodos de excavación.

1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Con el fin de alcanzar el objetivo de este trabajo se plantearon los siguientes objetivos específicos:

- Actualizar y cartografiar las características geológicas del trazado del Túnel de Conducción.

- Obtener las clasificaciones geomecánicas del macizo rocoso donde se ubica el trazado del túnel, utilizando el Índice Q desarrollado por el NGI (Norwegian Geotechnical Institute) y el Sistema RMR (Rock Mass Rating) desarrollado por Bieniawski (1989).
- Zonificar el trazado del túnel en función de las características geomecánicas del macizo rocoso y evaluar los requerimientos de sostenimiento necesario.
- Determinar el Índice Q_{TBM} (Modificado) (Índice Q modificado para excavaciones con Tunnelling Boring Machine) desarrollado por Barton, (2000) para el macizo rocoso donde se encuentra el trazado del túnel.
- Evaluar el desempeño del TBM (Tunnelling Boring Machine) con respecto a la clasificación del macizo rocoso considerando el Índice Q_{TBM} (Modificado).

1.5 METODOLOGÍA

Para alcanzar los objetivos del estudio se siguió la siguiente metodología:

- Se recopiló la información existente: fotografías aéreas del Proyecto San Francisco, escala 1:35000, rollo 01, de 0029 a 0034; cartas topográficas escala 1:25000; Mapa Geológico de la Cordillera Real 1°N–2°S, CODIGEN-BGS; Informe de Geología y Geotecnia de diseño Proyecto Hidroeléctrico San Francisco INECEL (1989); Ensayos de Laboratorio GeoConsult (2005).
- Luego se realizó una verificación y actualización de la cartografía existente. Para esto se analizó las fotografías aéreas con el fin de cartografiar unidades y estructuras o lineamientos que afecten la zona, a continuación se realizó una campaña de reconocimiento geológico detallado aprovechando los afloramientos a lo largo de la carretera Baños – Puyo.

Con esto se llegó a determinar 7 unidades litológicas que conforman el basamento y varias formaciones superficiales, que coinciden con las unidades reconocidas en los estudios de diseño del Informe técnico, INECEL (1989).

- Además durante la campaña de campo aprovechando las observaciones superficiales del macizo rocoso y los resultados geomecánicos obtenidos del Informe de diseño INECEL (1989), se realizó la clasificación geomecánica del macizo en 23 puntos, utilizando los Índices RMR y Q.
- Durante la etapa de excavación de los 4050 m del túnel, se obtuvieron datos geomecánicos del macizo para realizar la clasificación geomecánica en base al Índice Q. Además en los 1950 m de perforación con TBM, se obtuvieron parámetros operacionales de la máquina, con el fin de determinar el Índice Q_{TBM} (Modificado) y analizar el rendimiento del TBM con las clasificaciones geomecánicas.
- Como etapa final se procedió al análisis de la información obtenida y a la redacción del Proyecto de Titulación

1.6 ALCANCE DEL TRABAJO

El trabajo realizado en el presente proyecto de titulación tiene como alcance los siguientes puntos:

- Cartografiar geológicamente la zona de influencia del túnel de conducción, obteniéndose el mapa geológico de escala 1:15.000.
- Zonificar el macizo rocoso en base a la homogeneidad de las propiedades geomecánicas de la roca, a lo largo del trazado del túnel de conducción del Proyecto Hidroeléctrico “San Francisco”.

- Recomendar sostenimiento necesario en el túnel en base a la clasificación geomecánica del Índice Q, tomando en cuenta el método de excavación utilizado.
- Realizar una correlación entre las clasificaciones geomecánicas de la roca y el desempeño del TBM (Tunnelling Boring Machine), con el fin de pronosticar las velocidades de penetración de la máquina tuneladora respecto a la clasificación geomecánica realizada en superficie para el tramo no excavado.

CAPITULO 2.

GEOLOGÍA REGIONAL Y LOCAL

2.1 MARCO GEOLOGICO REGIONAL (Figura 2.3)

2.1.1 LITOLOGÍA.

El trazado del túnel de conducción del proyecto San Francisco está ubicado en las estribaciones orientales de la cordillera Real.

En el Ecuador la cordillera Real está constituida por un basamento Precámbrico sobreyacido por cinturones sublineares alargados de rocas metamórficas del Paleozoico-Cretácico Inferior, intruídas por granitoides tipo S e I (Aspden & Litherland, 1992).

Estas rocas metamórficas han sido afectadas por una sucesión de eventos tectónicos y magmáticos desde el Mesozoico hasta el Cuaternario. En el modelo más aceptado, Aspden y Litherland, (1992) las han subdividido en cinco terrenos litotectónicos, los cuales se cree están separados por importantes fallas regionales de dirección preferencial norte sur. Los terrenos litotectónicos localizados de oeste a este son: Guamote, Alao, Loja, Salado y Zamora, los límites tectónicos entre estas unidades son: Falla Peltetec, Frente Baños, Falla Llanganates, Falla Cosanga-Méndez.

Según Egúez y Aspen (1993), los sedimentos pelíticos del terreno Loja fueron metamorfizados durante el Triásico tardío. Este evento estuvo acompañado de cizallamiento regional transpresional dextral y el emplazamiento de granitoides (tipo I y S) junto a cuerpos máficos de anfibolitas y posiblemente algo de volcanismo en la zona oriental. Dataciones U/Pb indican edades plutónicas de 228 ± 1 Ma y 227.6 ± 3.2 Ma.

Durante el Jurásico medio ocurrió una actividad volcano-plutónica de importancia a lo largo de la actual zona Subandina y la parte oriental de la Cordillera Real, al norte de los 2° S. Durante este periodo se emplazaron los batolitos de Zamora, Abitagua, Azafrán, Chingual y Rosa Florida, con el contemporáneo volcanismo de la Formación Misahualli y los volcanosedimentos de la Formación Upano (Egüez y Aspen, 1993).

Luego que cesó esta actividad, la Cordillera Real y la Zona Subandina fueron deformadas, levantadas y erosionadas producto de un evento compresivo durante el Jurásico tardío – Cretácico temprano (140 - 120 Ma), edades K/Ar (135-120 Ma) y una isócrona Rb/Sr (120 ± 5 Ma), obtenidas de los batolitos jurásicos (Egüez y Aspen, 1993), remanentes de este evento podrían mostrar dentro de la Cordillera Real un importante cizallamiento dextral, a lo largo de las zonas de fallas verticales de rumbo NNE/SSW, predominante en la zona.

Las unidades presentes en el área de implantación del túnel son: Agoyán, Cuyuja, Cerro Hermoso y granitos Azafrán correspondientes a los terrenos litotectónicas Loja y Salado. A continuación se describen las rocas metamórficas y las formaciones superficiales que afloran en el área de estudio.

2.1.1.1 Unidad Agoyán (Pz?)

Definida por Litherland et al., (1994), en base a descripciones petrográficas iniciales realizadas por Sauer (1965), la Unidad Agoyán, está formada por esquistos pelíticos y paragneis. La litología típica de la unidad son esquistos de moscovita - granate de grano medio y gneis de grano grueso, además ortocuarcitas de grano fino, cuarcitas con granate y esquistos cuarcíticos. Las ocurrencias más accesibles están cerca de Baños, justo al este de los túneles viales de la zona de Agoyán.

La Unidad Agoyán, pertenece al terreno litotectónico Loja y se encuentra ampliamente distribuida al norte de la cordillera. Los contactos con las unidades

adyacentes se consideran tectónicos, y es ampliamente asociada con el granito de Tres Lagunas.

El grado metamórfico de estas rocas es muy alto para la preservación fósil pero edades radiométricas K/Ar varían del Precámbrico al Cretácico tardío, aunque se le asume que pertenece al Paleozoico (Litherland & Aspend, 1994).

2.1.1.2 Unidad Cuyuja (J?)

Fue nombrada por Litherland et al., (1994), está compuesto por esquistos pelíticos grafiticos cruzados por vetas de cuarzo que contienen cianita. Además se encuentran intercalaciones de esquistos psamíticos y verdes. Según Duque (1984) considera que los protolitos son pelitas verdaderas y sugiere condiciones de metamorfismo en las facies de esquistos verde dentro de una serie de facies de presión intermedia.

Ocurre al norte de la cordillera, está bien expuesta alrededor del poblado de Cuyuja y forma un cinturón de hasta 10 km de ancho dentro del complejo de napas Cuyuja.

La edad de la unidad es controversial, Kennerly (1980), cita edades K/Ar en biotita y moscovita de 82 ± 3 Ma que podrían corresponder al metamorfismo, pero según Litherland et al., (1994) prefieren una edad Jurásica y un metamorfismo relacionado al evento Peltetec (≈ 120 Ma).

La Unidad Cuyuja, es una subdivisión metasedimentaria del terreno Salado que ocurre principalmente al norte de la cordillera Real.

2.1.1.3 Unidad Cerro Hermoso (J?)

Nombrado por Litherland et al., (1994), consiste de una secuencia carbonatada que aflora en un cinturón estrecho en Cerro Hermoso. Tiene un espesor de unos 450 m y comprende calizas negras metamorfizadas, filitas calcáreas negras y

cálcarenitas más pálidas. Presenta fuerte clivaje y microscópicamente se observa evidencias de fragmentos de conchas. Algunos horizontes de mármol son ricos en granate, en tanto otros de filitas contienen cloritoide. Está intruido por el plutón de Azafrán.

La Unidad Cerro Hermoso, hacia la zona de estudio, presenta filitas negras que afloran en la zona del río Blanco (Sauer, 1965).

Las rocas de Cerro Hermoso son intruidas por el plutón Azafrán del Jurásico medio, por lo que se le atribuye una edad probable Jurásica temprana a media (Litherland & Aspend, 1994).

2.1.1.4 Granitos Azafrán (JK).

Corresponde a un cinturón de granitoides tipo I (Aspden, 1992) metamorfizados a lo largo del borde oriental del norte de la cordillera Real. Comprende dos áreas de afloramiento (plutón de Azafrán y plutón de La Bonita), que son posiblemente parte de un batolito continuo enterrado tectónicamente por el complejo de las napas de Cuyuja. Los cinturones son de unos 10 km de ancho y la mayoría de los contactos con el adyacente terreno Salado son tectónicos. Litológicamente varía desde cuarzo monzonitas a granitos débilmente metamorfizados (metagranitos con epidota y sericita) hasta esquistos verdes de grado medio, que son difíciles de distinguir de rocas metasedimentarias asociadas (Baldock, 1982 en Duque 2000).

El plutón de Azafrán se extiende desde el río Chalupas en el norte hasta el río Sangay en el sur, una distancia de aproximadamente 125 km.

En base a las edades radiométricas de las intrusiones, se interpreta que la unidad fue emplazada en el borde Jurásico – Cretácico. (Litherland et al, 1994).

2.1.1.5 Formaciones Superficiales

Regionalmente se puede distinguir los siguientes depósitos:

2.1.1.5.1 *Depósitos Volcánicos.*

Los depósitos volcánicos dispersos en la región pertenecen a los eventos eruptivos del complejo volcánico Tungurahua ocurridos durante el cuaternario, los depósitos observados regionalmente consisten de flujos de lavas, flujos piroclásticos, avalanchas de escombros y depósitos de caída.

2.1.1.5.2 *Depósitos Aluviales*

Estos depósitos se encuentran en los cauces y orillas de los ríos principales, como el Pastaza, Chambo y Patate. Están constituidos por materiales poligenéticos de todo tamaño, mal clasificados, acarreados por crecidas torrenciales y depositados en llanuras de inundación y cauces de los ríos. Su espesor es variable y alcanzan unas pocas decenas de metros.

2.1.2 VOLCANISMO DE LA ZONA DE ESTUDIO Y PELIGROS ASOCIADOS

La zona de estudio está influenciada por el volcanismo del volcán Tungurahua. Este estratovolcán consta de 3 edificios sucesivos, de los cuales los dos primeros fueron parcialmente destruidos por colapsos sectoriales (Hall et al., 1999).

El viejo edificio volcánico denominado Tungurahua I, es representado por un apilamiento de flujos de lavas de composición andesítica a andesítica básica (55 – 58.6 wt SiO₂) con espesores aproximados de 400 m en los valles de Vascún y Ulba. Las estructuras e inclinación de estas series de flujos de lavas, pueden definir claramente la forma y tamaño del Tungurahua I, la proyección hacia la cumbre desde las laderas originales convergen a una altura hipotética similar a la actual, y la proyección de estas laderas hacia la base sugiere que el edificio volcánico terminaba hacia el fondo del valle del Pastaza a 2200 msnm, o sea 400 m más alto que el presente piso. Edades de K/Ar, resultan 0.77 ± 0.05 y 0.35 ± 0.04 Ma, por lo que se le atribuye una edad mayor a 300000 años antes del presente (Hall et al., 1999)

El edificio intermedio llamado Tungurahua II se construyó luego de un periodo de reposo y de erosión importante. Esta unidad constituye una secuencia de aproximadamente 100 m de espesor de lavas andesíticas que se encuentran rellenando paleovalles formados durante el último avance glacial, ocurrido entre 33000 y 14000 años AP (Clapperton, 1993 en Samaniego et al., 2003). Finalmente este edificio sufrió un gran colapso sectorial hace 3000 años.

El edificio actual denominado Tungurahua III; consiste de un cono asimétrico con flancos de 30–35° y ocupa la tercera parte occidental del complejo volcánico. El Tungurahua III se caracteriza por una casi continua actividad eruptiva desde hace 2300 años caracterizada por la generación de flujos de lava de composición variada de andesítica básica a andesítica, flujos piroclásticos y flujos de escombros, así como moderadas cantidades de material piroclástico lanzado al aire por el volcán (Samaniego et al., 2003).

Según el Mapa de Peligros Potenciales del Volcán Tungurahua (Instituto Geofísico, 2000), indica que la zona superficial de influencia del túnel solo se vería afectada por flujos de lodos (lahares), que no representa problema para la estabilidad del túnel.

2.1.3 SISMICIDAD DE LA ZONA DE ESTUDIO.

Según Pennington (1981) la parte noroccidental del continente sudamericano (bloque norandino), en la cual está incluida la mayor parte del territorio continental ecuatoriano, está separada del resto del continente por un sistemas de fallas posteriormente definido por Soulas et al. (1991). Este sistema de fallas ingresa por el golfo de Guayaquil y se proyecta hacia el interior a lo largo del sistema de fallas Pallatanga. Este sistema es de naturaleza transcurrente dextral (Campbell, 1974) según el cual el bloque norandino se está desplazando hacia el noreste respecto al continente.

De acuerdo al estudio presentado por Woodward Clyde Consultants (1981) en INECEL (1989), identificó cuatro fuentes sísmicas como potencialmente importantes para el diseño sísmico de la presa de Agoyán:

- La falla de Pisayambo.
- La fosa mar afuera
- La zona de subducción bajo el sitio.
- Sismos asociados con fases eruptivas del volcán Tungurahua.

Según Woodward Clyde Consultants (1981) en INECEL (1989) sugieren que la falla de Pisayambo es parte del sistema de fallas Pallatanga, y la parte más cercana de esta estructura sismotectónica mayor podría estar aproximadamente a 12 Km al oeste del extremo oeste del túnel de conducción y a 20 Km al oeste del extremo este. Por lo que se toma la fuente Pisayambo/Pallatanga como fuente de control para el Proyecto San Francisco.

Uno de los principales aspectos en la selección y caracterización de las fuentes sísmicas es estimar la magnitud del sismo probable de ocurrir y a ser utilizado para propósitos de diseño. En el cuadro 1 se han indicado una serie de magnitudes: 7, 7.25, 7.5 de tal manera que sean considerados para propósitos de diseño, Woodward Clyde Consultants (1981) en INECEL (1989)

Tabla 2.1 Aceleraciones Superficiales estimadas para el Proyecto San Francisco, tomado de Informe Geológico-Geotécnico, INECEL (1989)

Fuente	Magnitud estimada	Distancia al portal oeste (km)	Distancia al portal este (km)	Aceleración superficial estimada (g)
Volcán Tungurahua	5.5	12		0.26
			22	0.15
Zona de Subducción	8	150	150	0.18
Fosa mar afuera	8.5	270	270	0.10
Falla de Pallatanga	7	12		0.40
			20	0.24
	7.25	12		0.43
			20	0.3
	7.5	12		0.46
			20	0.38

2.1.4 ESTRUCTURAS GEOLÓGICAS.

Como se mencionó anteriormente la cordillera Real está conformada por terrenos litotectónicos orientados norte – sur, estos terrenos fueron producto de acreciones acontecidas durante una fase colisional debido a esfuerzos compresivos este – oeste, ocurridos durante el Jurásico a Cretácico temprano. Los límites de los terrenos litotectónicos corresponden a fallas de rumbo o transcurrentes dextrales con orientaciones NNE - SSE. Observaciones en la rivera norte del río Pastaza cerca de la población de Baños, se observa pliegues transpuestos con sentido de movimientos dextrales, con los ejes de pliegues asociados a lineamientos minerales con tendencia norte - sur buzando con ángulos moderados a bajos (Litherland et al, 1994).

La estructura de primer orden que se encuentra cerca de la zona de estudio, está representada por la falla de cabalgamiento al este del río San Francisco, es decir al este del trazado del túnel de Conducción, de dirección NNE-SSW con buzamiento aparente al W, esta estructura es parte del sistema de fallas del subandino (no se indica en el Mapa 1, Anexo 12).

Las foliaciones encontradas en las rocas metamórficas, correspondientes a los remanentes de los pliegues, así como las lineaciones del granito orientado (granito de Azafrán), son de dirección preferencial N – S, con muy pequeñas declinaciones al E y W, y buzamiento abrupto alrededor de la vertical.

El fracturamiento es muy pronunciado, observando la existencia de varias familias, siendo los más notorios los de rumbo E – W, coincidentes con la dirección del río Pastaza. Estas estructuras podrían acoplarse a las fracturas de tensión del Modelo de Riedel producto de esfuerzos compresivos principales de dirección E – W.

Durante el recorrido sobre el trazado del túnel en superficie se tomaron 106 medidas de rumbo y buzamiento de foliaciones y 261 medidas de orientaciones de fracturas que fueron analizados utilizando el programa DIPS (Figuras 2.1 y 2.2).

Para la foliación resultó la presencia de cuatro familias (Figura 2.1), que se presentan a continuación:

F1	N16°W / 78°SW	(78/254)
F2	N21°E / 83°SE	(83/111)
F3	N10°E / 76°NW	(76/280)
F4	N14°W / 79°NE	(79/076)

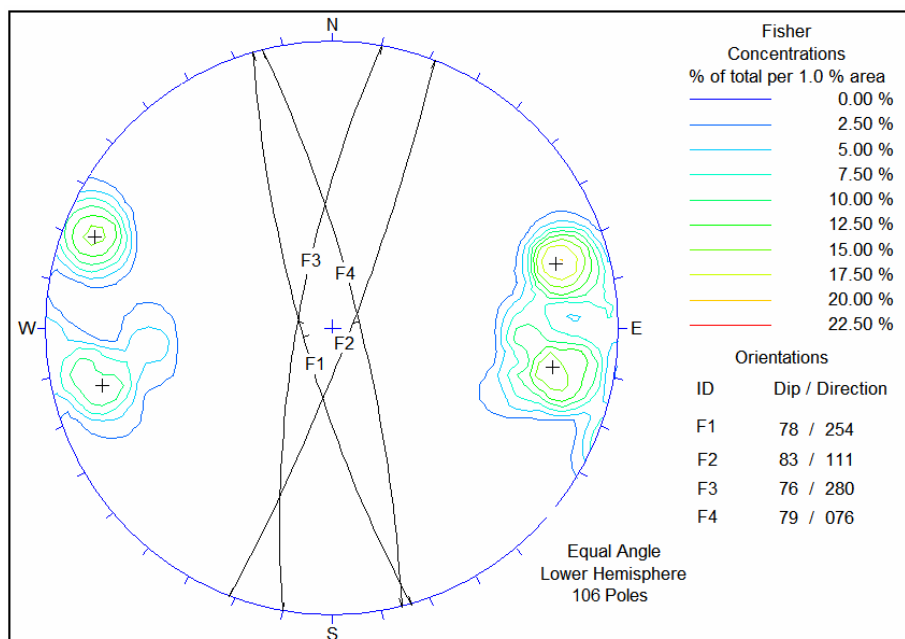


Figura 2.1 Familias de foliación presentes a lo largo del trazado del túnel de Conducción.

Para las diaclasas se encontró dos familias que se presentan a lo largo de todo el trazado del túnel, llamadas diaclasas principales. Además se determinaron 4 familias de diaclasas que aparecen localmente a las que se denominó diaclasas aleatorias, las familias de diaclasas (Figura 2.2) se presentan a continuación:

Diaclasas principales

J1	N81°E / 65°NW	(65/351)
J2	N86°E / 61°SE	(61/176)

Diaclasas aleatorias

J3	N80°W / 80°SW	(80/190)
J4	N46°E / 71°SE	(71/136)
J5	N75°E / 34°SE	(34/165)
J6	N53°W / 54°NE	(54/037)

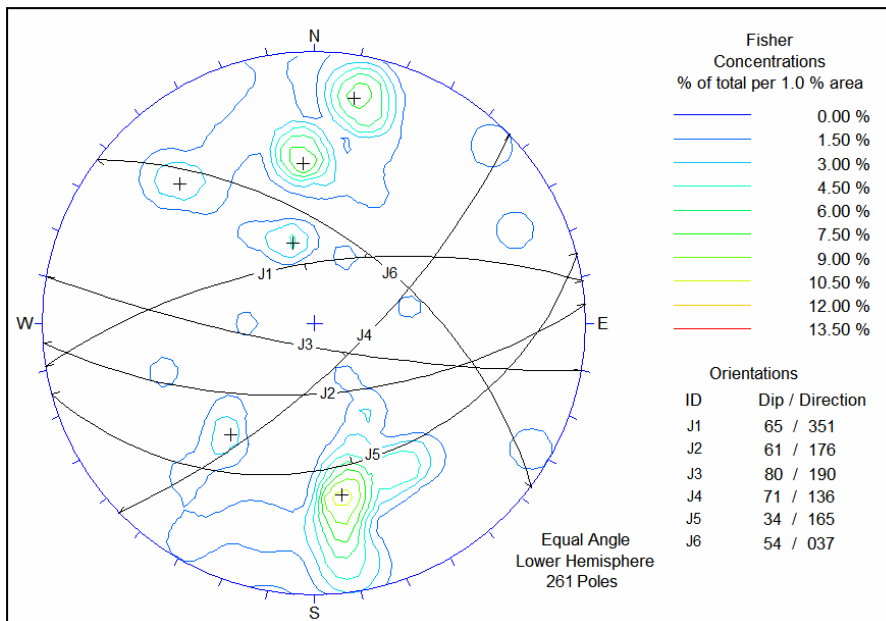


Figura 2.2 Familias de diaclasas presentes a lo largo del trazado del túnel de Conducción

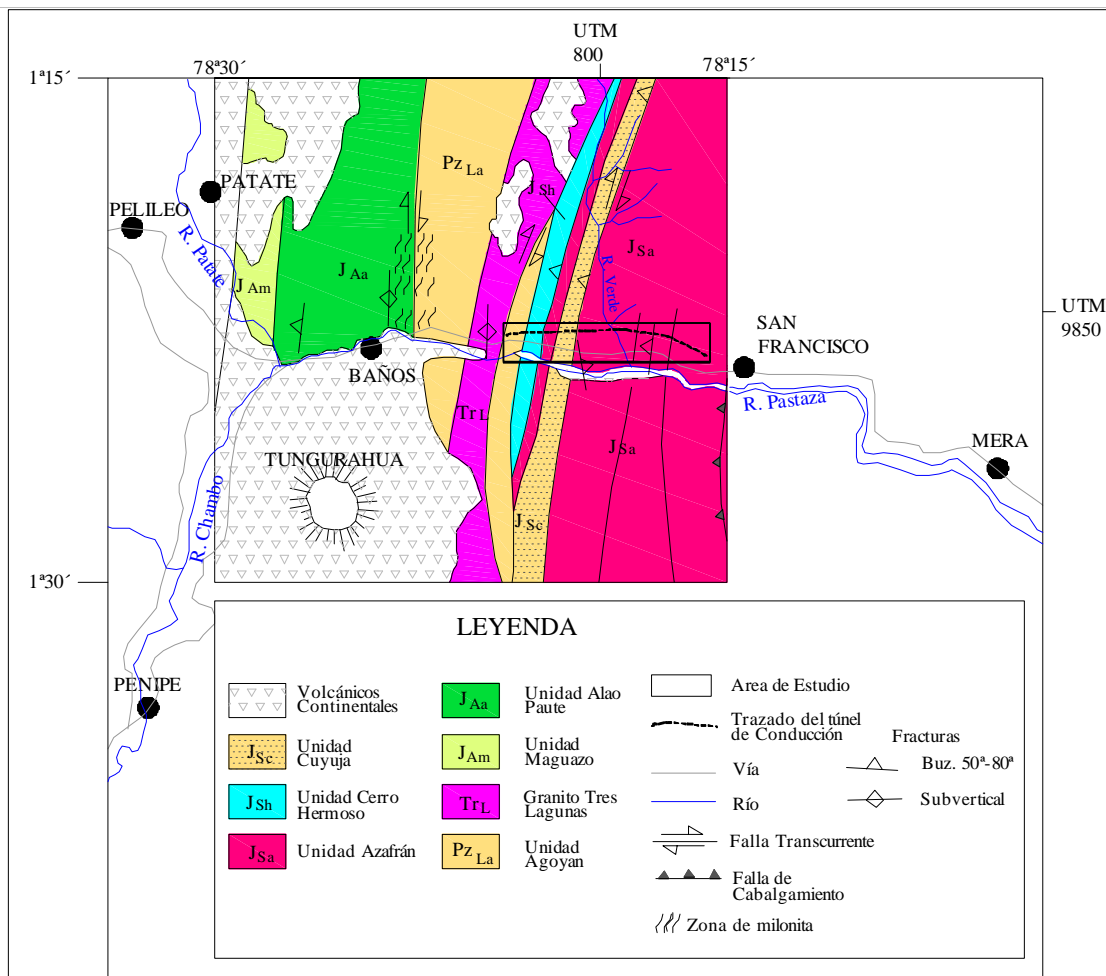


Figura 2.3 Características geológicas regionales del área entre Patate y San Francisco. (Tomado del Mapa geológico de la Cordillera Real, CODIGEN-BGS, 1994)

2.2 GEOLOGÍA LOCAL (Mapa 1, Anexo 12)

En base a la recopilación de información del Informe geológico geotécnico del Proyecto San Francisco, INECEL (1989), y el análisis de fotografías aéreas de la zona de estudio realizado en este trabajo, se procedió a realizar una campaña de reconocimiento geológico de los afloramientos de macizo rocoso ubicados a lo largo de la carretera Baños – Puyo, con el fin de comprobar la distribución espacial de las diferentes litologías y estructuras, además de reconocer los procesos geológicos presentes. También, durante esta campaña se definieron 23 sitios o estaciones de observación con el objetivo de recopilar datos geomecánicos, como medidas estructurales, meteorización, estados de fracturación y clasificaciones de macizo rocoso.

El análisis de la documentación técnica recopilada (INECEL, 1989), fotografías aéreas y de las observaciones realizadas en superficie, permitieron identificar 7 unidades litológicas que conforman el basamento rocoso y varias formaciones superficiales que cubren el basamento, principalmente localizados hacia los valles principales (río Pastaza, río Blanco, río Verde y río Machay). Las características litológicas y estructurales de estas unidades se describen a continuación y se presentan en el Mapa1 (Anexo de Mapas).

El trazado del túnel de conducción del Proyecto San Francisco se localiza y desarrolla exclusivamente en el macizo rocoso del basamento constituido por rocas metamórficas e intrusivas.

2.2.1 GEOMORFOLOGÍA

El trazado del Túnel de Conducción del Proyecto “San Francisco” está ubicado en las estribaciones orientales de la Cordillera Real, conformadas por rocas metamórficas las cuales presentan relieves con pendientes muy fuertes a moderados, observándose cotas entre 2300 a 1400 msnm; y pequeñas zonas de pendiente suave en los cauces de los drenajes secundarios.

El drenaje principal está constituido por el río Pastaza que corre en dirección oeste – este. Este drenaje fue influenciado por varios cambios morfológicos en toda el área del proyecto debido a la influencia de los derrames de lavas del volcán Tungurahua y la subsiguiente erosión, testigo de lo cual son las mesetas colgadas a ambos lados del valle.

Los drenajes secundarios, conformados por los ríos Blanco, Verde y Machay, forman valles pronunciados que se alinean con la dirección de la foliación regional. La pendiente en estos drenajes es moderada, y oscilan entre 2.5° a 10.78°, por lo que la capacidad erosiva y de transporte es bastante acentuada, características que serán predominantes hasta que estos drenajes alcancen la línea base del río Pastaza.

Debido al clima cálido húmedo imperante en la zona, las altas precipitaciones y la conformación topográfica de los taludes, la mayoría de terrenos sueltos (coluviales, escombros, etc.) han estado sujetos a movimientos en masa, este fenómeno continúa actuando hasta los tiempos actuales.

2.2.2 ROCAS DEL BASAMENTO

2.2.2.1 Unidad 1: Esquistos cuarzo micáceos grafitosos

Esta unidad aflora en la parte occidental de la zona de estudio, y entre las abscisas 0+000 – 0+737 del túnel de Conducción.

En esta unidad se tienen 6 sondeos mecánicos con aproximadamente 295 m. (IC-132, IC-133, IC-134, IC-135, IC-136, SCI-1), 2 sitios de observaciones en superficie, recolección de 4 muestras de roca para descripción petrográfica, 16 ensayos de permeabilidad Lugeon realizados en el sondeo SCI-1, que permiten identificar las características geológicas de las rocas (Mapa 2, Anexo 12)

- Litología

Litológicamente comprende una variedad de rocas alternantes difíciles de limitar y que incluyen: gneis cuarzo feldespático moscovíticos, esquisto feldespato – moscovíticos, esquistos cuarzo – moscovíticos, esquistos cuarzo – graníticos, esquistos talcosos, anfíbolitas y las llamadas rocas verdes que se las encuentra en forma de diques (INECEL, 1989).

En afloramientos de superficie estas rocas se presentan de coloración gris claro, gris oscuro y gris verdoso. Su textura es principalmente esquistosa. Están compuestos principalmente de cuarzo, feldespatos y moscovita, y sulfuros como minerales secundarios. El grano es de fino a medio. Son comunes intercalaciones de anfíbolitas de 0.5 cm y gneis con granate y grafito. En algunas localidades se observa cuarzo lechoso de 0.20 cm a 1.0 cm, los cuales por lo general siguen la orientación de la foliación.

Esquistos micáceos y esquistos talcosos se encuentran intercalados con espesores variables de 0.2 m hasta 0.5 m, de coloración gris claro a blanco. Estos esquistos son de grano fino, densamente plegados, y representan las rocas con propiedades más pobres geomecánicamente, en algunas zonas durante la excavación, era posible arrancarlos manualmente.

La descripción microscópica de la muestra MH-2 (Anexo 1) indica que se trata de una roca esquistosa, cuarzo – micácea granítica, de color gris claro, en la cual los minerales principales son: cuarzo (35%), albita (26%), moscovita (15%), clorita (10%), granate (7%), y grafito (3%); con epidota, biotita y turmalina como mineral accesorio.

De otra parte las descripciones microscópicas de las muestra 7a, 8a y 9a (Anexo 1), muestran como resultados, esquisto grafitoso, esquisto de mica y esquisto grafitoso, con contenidos de cuarzo (15-30%) y moscovita (30-40%).

- Estructuras

El análisis de 130 medidas de rumbo y buzamiento de las fracturas y foliaciones identificadas en los 405 m de túnel excavado en la unidad y de las medidas tomadas en los afloramientos de superficie (sitios de observación 1 y 2, Anexo 2), determinan varias familias de discontinuidades predominantes que se presentan a continuación:

Foliación:

F2 N19°E/76°SE (76/109)

Diaclasas:

J1 N75°E/73°NW (73/345)

J2 N77°E/74°SE (74/167)

J6 N54°W/66°NE (66/036)

Dentro de esta unidad se observan también dos lineamientos identificados en fotos aéreas. Durante el reconocimiento de campo en superficie se constató que correspondían a franjas de espesores de 20 a 30 m de rocas fracturadas, mostrando cizallamiento y con mayor meteorización, consideradas como fallas (f-1 y f-2) con direcciones preferenciales N-S. Al este de la segunda zona de debilidad (f-2) se observa un marcado cambio litológico, por lo que se asume un límite fallado con la unidad litológica siguiente.

- Hidrogeología

Durante la excavación de los 405 m de túnel en la unidad, se observaron infiltraciones puntuales de agua menores de 10 l/min, en tramos métricos donde prevalecían esquistos micáceos y rocas cizalladas.

En base de ensayos Lugeon realizados para la cámara de Interconexión en el sondeo SCI-1, se obtuvo una permeabilidad promedio del macizo rocoso de 1.61×10^{-6} (m/s) (Anexo 3)

2.2.2.2 Unidad 2: Esquistos negros y esquistos grafitosos

Esta unidad aflora al este de la unidad 1 entre las abscisas 0+737 – 1+370 del túnel de Conducción, donde se localiza el valle del río Blanco.

En esta unidad se tienen 4 sondeos mecánicos con aproximadamente 460 m. (SRB-1, RB-110, PT-101, RB-1A), 3 sitios de observaciones en superficie, recolección de 3 muestras de roca para descripción petrográfica, 17 ensayos de permeabilidad Lugeon realizados en el sondeo RB-1A, que permiten identificar las características geológicas de las rocas (Mapa 2, Anexo 12)

- Litología

Esta unidad está conformada por esquistos negros y esquistos grafitosos. Los esquistos negros están compuestos de cuarzo, grafito y cloritoide con impregnaciones de pirita diseminada, aunque en ciertos lugares la pirita se encuentra en su forma cristalizada de gran tamaño, y además calcita con espesores milimétricos. Estas rocas se encuentran plegadas, foliadas y localmente silicificadas formando bancos métricos de 2 a 10 m de espesor (INECEL, 1989).

Los esquistos grafitosos son de color negro a gris oscuro, microplegados y fisilizados, formando bancos decimétricos a métricos; con textura esquistosa y pizarrosa.

Los análisis petrográficos de las muestras MH-7, 10A y 11A (Anexo 1), compuestas de cuarzo (10-30%), feldspatos (3-20%), micas (15-20%), grafito (5-57%) identifica una pizarra grafitosa, esquisto grafitoso y esquisto micáceo, respectivamente.

- Estructuras

El análisis estereográfico de 55 medidas de rumbo y buzamiento de planos de fracturas y foliaciones identificadas en superficie (sitios de observación 3, 4 y 5, Anexo 2), muestran la predominancia de 4 familias de discontinuidades presentes en la unidad, que se describen a continuación:

Foliación:

F3 N11°E/79°NW (79/281)

Diaclasas:

J1 N83°E/79°NW (79/353)

J2 N88°E/61°SE (61/178)

J5 N76°E/33°SE (33/166)

En esta unidad se observa también la presencia de dos lineamientos con orientación N60°E y la segunda paralela al río Blanco identificados en las fotografías aéreas, asumidos como fallas (f-3 y f-4). Durante el reconocimiento superficial, el primer lineamiento correspondió a una franja de espesor de 30 m de roca fracturada con rasgos de cizallamiento, buzando 70°SE, el lineamiento paralelo al río Blanco a lo largo de la carretera Baños - Puyo se encuentra cubierto por depósitos superficiales por lo que no se obtuvo observaciones directas.

- Hidrogeología

En base a la prueba Lugeon realizadas en el sondeo PRB-1A, se determinó una permeabilidad para el macizo rocoso de 3.25×10^{-6} m/s y se calculó la infiltración instantánea hacia el túnel en 31.43 l/min/m.

Los valores del ensayo Lugeon y el cálculo de la infiltración se presentan en el Anexo 3.

2.2.2.3 Unidad 3: Esquistos y gneis cloríticos sericíticos

Esta unidad aflora al este de la unidad 2, entre las abscisas 1+370 – 2+780 del túnel de Conducción.

En esta unidad se tienen 4 sitios de observaciones en superficie, recolección de 2 muestras de roca para descripción petrográfica, que permiten identificar las características geológicas de las rocas (Mapa 2, Anexo 12).

- Litología

La unidad comprende esquistos cloríticos – sericíticos. Está constituida por rocas de color verde brillante compuestas de cuarzo, feldespato, clorita y sericita, la cantidad de estos últimos minerales determina la variedad de los esquistos predominantes. La textura varía de esquistosa a gnéisica por lo que en ciertos sectores se lo clasifica como gneis con cuarzo, clorita y sericita.

El análisis microscópico de la muestra MH-9 (Anexo 1), indica que se trata de un esquisto micáceo con clorita y moscovita con los siguientes porcentajes de los principales minerales: cuarzo (22%), moscovita (32%), biotita (10%), albita (8%), clorita (8%), actinolita (6%) y calcita (3%).

Sin embargo la descripción petrográfica de la muestra MH-11 (Anexo 1), indica que la roca es un esquisto gnéisico de biotita y sericita con los siguientes porcentajes: plagioclasa (24%), cuarzo (20%), biotita (20%), moscovita (10%), esfena (8%), clinozoisita (8%), calcita (5%), epidota (5%), clorita (5%).

- Estructuras

El análisis estereográfico de 54 medidas de rumbo y buzamiento de planos de fracturas y foliaciones tomadas en superficie (sitio de observación 6 a 9, Anexo 2), muestran 4 familias de discontinuidades predominantes dentro de esta unidad, que se presentan a continuación:

Foliación:

F3 N7°W/71°NE (79/281)

Diaclasas:

J1 N80°E/65°NW (65/350)

J2 N83°E/71°SE (71/173)

J4 N76°E/33°SE (62/137)

Además se han identificado dos fallas determinadas durante el análisis de fotografías aéreas, con orientaciones e inclinaciones siguientes: N25°W/85°NE (f5) y N13°E/80°SE (f6).

2.2.2.4 Unidad 4: Esquistos y gneis de plagioclasa – cuarzo y moscovita

Esta unidad aflora al este de la unidad 3, entre las abscisas 2+780 - 3+820 del túnel de Conducción.

En esta unidad se tiene 1 sondeo mecánico de 324 m. (PT-102), 2 sitios de observaciones en superficie, 1 muestras de roca para descripción petrográfica, 2 ensayos de permeabilidad Lugeon, que permiten identificar las características geológicas de las rocas (Mapa 2, Anexo 12).

- Litología

La unidad presenta gneis y esquistos. Los gneis son de color gris claro, con presencia de inclusiones de cuarzo y bandas de moscovita que definen la foliación. También se observa la presencia de gneis de grano medio con características básicas y abundancia de plagioclasa.

Los esquistos son de textura fina con abundancia de minerales micáceos, clorita y sericita lo cual le da la coloración gris clara verdosa.

El análisis petrográfico de la muestra MH-13 (Anexo 1), muestra que se trata de un “gneis de cuarzo” constituido por cuarzo (38%), moscovita (20%), biotita (14%), epidota (10%), plagioclasa (6%), feldespato potásico (4%), clorita (4%) y actinolita (2%).

- Estructuras

El análisis estereográfico de 43 medidas de rumbo y buzamiento de fracturas y foliaciones tomadas en superficie (sitios de observación 10 y 11, Anexo 2), muestran la presencia predominante de 4 familias de discontinuidades en esta unidad que se presentan a continuación:

Foliación:

F4 N10°W/83°NE (83/080)

Diaclasas:

J1 N80°E/67°NW (67/350)

J2 N87°W/60°SW (60/183)

J5 N82°E/34°SE (34/172)

Además dentro de esta unidad se determinó dos lineamientos identificados en fotografías aéreas consideradas como fallas de rumbo; la primera a lo largo de la quebrada Antumbas de dirección N30°E/80°SE (f-7), que presenta una zona de cizallamiento de 30 – 50 m de ancho; la otra (f-8) de dirección muy similar que la anterior con una zona de influencia de 30 – 40 m de espesor, que representa el contacto fallado con la unidad 5.

- Hidrogeología

En el sondeo PT-102 se realizaron ensayos Lugeon entre las cotas 1416 – 1384.8, encontrándose una permeabilidad promedio de 5.90×10^{-7} m/s (INECEL, 1989), lo cual determina infiltraciones instantáneas hacia el túnel en 10.08 l/min/m.

El cálculo del valor de permeabilidad promedio y la infiltración instantánea se presenta en el Anexo 3.

2.2.2.5 Unidad 5: Gneis y esquistos de cuarzo – feldespato y biotita

Esta unidad aflora al este de la unidad 4, entre las abscisas 3+820 – 7+030 del túnel de Conducción.

En esta unidad se realizaron 5 sondeos mecánicos con aproximadamente 483 m. (SRV-2, SRV-3, SRV-4, PT-104, RV-143), 4 sitios de observaciones en superficie, recolección de 6 muestras de roca para descripción petrográfica, 17 ensayos de permeabilidad Lugeon realizados en los sondeo SRV-2 y SRV-3, que permiten identificar las características geológicas de las rocas (Mapa 2, Anexo 12).

- Litología

Esta unidad está constituida por gneis y esquistos.

Los gneis son de color gris claro, gris verdoso y gris oscuro compuestos de cuarzo, feldespato, mica y epidota, de textura gnéisica de grano medio a fino. Es muy común encontrar vetas y vetillas de cuarzo. En los afloramientos se observó tramos de gneis masivos con espesores mayores a 15 m predominando sobre los esquistos.

Los esquistos se presentan intercalados entre los gneis y son de color gris claro a verdoso, con texturas de grano fino. Es común encontrar vetas de cuarzo lechoso de 5 – 10 cm. En los afloramientos los espesores varían de métricos a decimétricos.

Los esquistos y gneis, se encuentran intruidos por rocas granodioríticas, con espesores en superficie de 150 a 200 m, afloran antes y después del puente antiguo sobre el río Verde en la carretera antigua Baños – Puyo.

La descripción microscópica de la muestra MH-18 (Anexo 1), indica que se trata de un “esquisto de epidota, biotita, albita y cuarzo”. Mientras la muestra MH-19 señala que la roca es un “esquisto biotítico” de composición: albita (30%), clorita (15%), biotita (10%), epidota (10%), anfíbol (5%); como mineral secundario se tiene calcita en vetillas.

Sin embargo, el análisis microscópico de las muestras 1A, 2A, 3A (Anexo 1), identifica esquisto clorítico, esquisto micáceo y esquisto clorítico, respectivamente, con porcentajes de cuarzo (15-35%), micas (25-38%), plagioclasa (15-25%), clorita (5-10%), principalmente.

- Estructuras

El análisis de 67 medidas de rumbo y buzamiento de los planos de fracturas y foliaciones identificados en superficie (sitios de observación 12 a 15, Anexo 2) muestran 5 familias de discontinuidades predominantes dentro de esta unidad que se presentan a continuación:

Foliación:

F1 N15°W/77°SW (77/255)

Diaclasas:

J1 N76°E/62°NW (62/346)

J2 E-W/66°S (66/180)

J4 N43°E/74°SE (74/133)

J5 N71°E/35°SE (35/161)

En esta unidad se han identificado nueve lineamientos en base a la interpretación de fotografías aéreas, considerándolas posibles fallas (f-9 – f-17); tres con direcciones N-S, dos NNE-SSW, dos NNW-SSE, una NE-SW y una ENE-WSW. La falla f-17 se consideró límite con la unidad 6 debido al cambio litológico encontrado.

- Hidrogeología

En base a ensayos Lugeon realizados en los sondeos SVR-2 y SVR-3 (Mapa 2, anexo de mapas), se determinó la permeabilidad del macizo rocoso en 1.38×10^{-6} y 7.53×10^{-7} m/s respectivamente y se estableció infiltraciones instantáneas hacia el túnel de 8.60 l/min/m en el caso del sondeo SVR-2, y 6.16 l/min/m para el sondeo SRV-3.

Los resultados de los ensayos Lugeon y los cálculos de infiltración instantánea se presentan en el Anexo 3.

2.2.2.6 Unidad 6: Gneis y esquistos cloríticos

Esta unidad aflora al este de la unidad 5, entre las abscisas 7+030 – 8+884 del túnel de Conducción.

En esta unidad se tienen 5 sondeos mecánicos con aproximadamente 519 m. (PT-141C, PT-141D, RM-126, SRM-6 y PT-106), 5 sitios de observaciones en superficie, recolección de 4 muestras de roca para descripción petrográfica, 20 ensayos de permeabilidad Lugeon realizados en el sondeo PT-141-D, que permiten identificar las características geológicas de las rocas (Mapa 2, Anexo 12).

- Litología

Esta unidad está constituida de esquistos y gneis con características litológicas semejantes a las rocas de la unidad 3 de esquistos y gneis cloríticos - sericíticos.

Los esquistos son de color verde claro a gris brillante y gris claro, con la presencia de cuarzo, micas y feldespato; la textura es de grano fino a medio, presenta esquistosidad pronunciada y es común la presencia de vetas de cuarzo lechoso de hasta 15 cm de espesor.

Los gneis de la zona son cuarzo – biotíticos de color gris claro a gris verdoso; de textura gnéisica con inclusiones de cuarzo lechoso. Los minerales principales son el cuarzo, feldespato y la biotita, con pirita y calcopirita.

A lo largo de los 1430 m de túnel excavado dentro de esta unidad, se pudo observar la siguiente litología:

Tabla 2.2 Litología encontrada en el túnel de Conducción entre las abscisas 7+454 – 8+884

Abscisas		Long. m	Litología
7+454	7+879	425	Esquistos cuarcíticos, cloríticos, intercalados con vetillas de cuarzo
7+879	7+954	75	Esquistos cuarzo-micáceos intercalado con esquistos micáceos y verde
7+954	8+334	380	Gneis con intercalaciones de esquistos
8+334	8+459	125	Esquistos cuarcíticos, cloríticos, intercalados con vetillas de cuarzo
8+459	8+884	425	Gneis con intercalaciones de esquistos

La descripción microscópica de la muestra MH-22 (Anexo 1), presenta un “esquisto de moscovita, albita y cuarzo” con la siguiente composición: moscovita (30%), plagioclasa (25%), cuarzo (20%), epidota (15%), biotita (5%), clorita (5%).

Sin embargo las descripciones petrográfica de las muestras 4A, 5A, 6A (Anexo 1), nos indican que se trata de esquisto de moscovita, esquisto clorítico y esquisto de clorita y cuarzo, respectivamente, que muestran contenidos de cuarzo (15-25%), feldespatos (18-27%), micas (35-40%), clorita (3-15%),

- Estructuras

Del análisis de 45 medidas de rumbo y buzamiento de planos de discontinuidades identificados en superficie (sitios de observación 16 a 20, Anexo 2) y 232 medidas

tomadas durante la excavación del túnel dentro de esta unidad, se estableció la presencia de 5 familias de discontinuidades dentro de esta unidad, que se presentan a continuación:

Foliación:

F3 N5°E/70°NW (70/275)

Diaclasas:

J1 N76°W/74°NE (74/014)

J2 N89°E/66°SE (66/179)

J4 N50°E/70°SE (70/140)

J6 N51°W/65°NE (65/039)

Además dentro de esta unidad, en base a la interpretación de fotografías aéreas y reconocimientos de campo se han identificado la presencia de cinco fallas; dos con direcciones N-S, dos con rumbo NE – SW, una con rumbos NW-SE.

- Hidrogeología

Utilizando los ensayos Lugeon del sondeo PT-141-D realizado en la intersección del túnel de Conducción y la cuenca del río Machay se determinó una permeabilidad promedio de 4.58×10^{-7} m/s, y se calculó una infiltración instantánea hacia el túnel de 3.88 l/min/m (Anexo 3).

Durante la excavación de 1430 m dentro de esta unidad, los tramos con mayor caudal de infiltración corresponden a las intercalaciones de esquistos micáceos, y cuarzo-micáceos con mayor fracturación, cuyos valores se presentan a continuación:

Tabla 2.3 Caudales de infiltración instantánea encontrada entre las abscisas 7+664 – 8+054

Abscisas		Long (m)	Caudal (l/min/m)	Litología
7+664	7+709	45	22.2	Esquistos cuarzo-micáceos
8+014	8+034	15	15	Esquistos cuarzo-micáceos
8+034	8+054	20	20	Esquistos micáceos

2.2.2.7 Unidad 7: Granito orientado

Esta unidad aflora al extremo este de la zona de estudio, entre las abscisas 8+884 – 11+100 del túnel de Conducción.

En esta unidad se tienen 12 sondeos mecánicos con aproximadamente 1184 m. (SSF-8, PS-107, SPH-128, SPH-116, SPH-117, SPH-118, SPH-119, SPH-120, SPH-121, SPH-122, SPH-124, SPH-142), 3 sitios de observaciones en superficie, recolección de 2 muestras de roca para descripción petrográfica, ensayos de permeabilidad Lugeon realizados en el sondeo SPH-128, que permiten identificar las características geológicas de las rocas.

- Litología

Esta unidad está constituida por granito con orientaciones de micas generalmente norte - sur, sus colores varían de gris claro a gris oscuro, compuesto de cuarzo, plagioclasa, biotita y epidota; la textura es masiva a gnéisica; el grano varía de grueso a fino. Dentro de la unidad son comunes las intercalaciones de esquistos verdes y metavolcánicos (rocas verdes), así como cuarzo lechoso milimétrico a centimétrico.

Los esquistos están constituidos por esquistos verdes, esquistos cloríticos y esquistos sericíticos, intercalados en tramos centimétricos a métricos entre el granito formando lentes de orientación paralela a la foliación, están compuestos

principalmente de cuarzo, clorita, epidota y sericita, además de pirita como mineral secundario.

La descripción microscópica de la muestra MH-25 (Anexo 1), corresponde a “metagranito” de color blanco moteado con verde oscuro, constituido principalmente de: plagioclasa (35%), cuarzo (33%) y anortosita (30%), el 2 % restante esta constituido por minerales secundarios como biotita, turmalina, epidota, esfena y zircón.

Sin embargo la muestra 12A tomada durante la excavación en la abscisa 9+482, corresponde a esquisto de cuarzo, constituido principalmente por cuarzo (40-45%), plagioclasa (10-15%), micas (3-8%), clorita (3-5%), feldespato potásico (3-5%), epidota (3-5%).

- Estructuras

El análisis de 49 medidas de rumbo y buzamiento en los planos de fracturas y foliaciones de los esquistos identificados en superficie (sitios de observación 21 a 23, Anexo 2) y 328 medidas tomadas durante la excavación en esta unidad, se pudo establecer la presencia de 5 familias de discontinuidades, que se presentan a continuación:

Foliación:

F3 N17°E/77°NW (77/287)

Diaclasas:

J1 N67°E/58°NW (58/337)

J2 N70°E/63°SE (63/160)

J3 N77°W/79°SW (79/193)

J5 N58°E/42°SE (42/148)

En esta unidad se han identificado cuatro lineamientos considerados como fallas en base al análisis de fotografías aéreas y reconocimientos de campo, tres con direcciones NE y una con dirección NW.

- Hidrogeología

En base a los ensayos de permeabilidad tipo Lugeon realizados en el sondeo SPH-128 (Mapa 2, anexo de mapas), se determinó que las rocas tienen valores promedios de 5 U.L. en el 80% de los ensayos (INECEL, 1989), resultando una permeabilidad promedio de 5×10^{-7} (m/s), calculándose una infiltración instantánea hacia el túnel de 3.67 l/min/m.

Sin embargo la infiltración instantánea medida durante la excavación en esta unidad se presentó en tramos de intercalaciones métricas de esquistos verdes y tramos de granito con mayor fracturación y se registran en la siguiente tabla:

Tabla 2.4 Caudales de infiltración instantánea encontradas en el túnel de Conducción entre las abscisas 9+224 – 9+361

Abscisas		Long (m)	Caudal (l/min/m)	Litología
9+224	9+234	10	20	Granito orientado-Esquistos verdes
9+249	9+268	19	12.37	Granito orientado-Esquistos verdes
9+268	9+319	51	9.76	Granito orientado
9+329	9+361	32	13.44	Granito orientado

Los valores de los ensayos Lugeon y el cálculo de la infiltración instantánea para el Túnel de Conducción se encuentran en el Anexo3.

2.2.3 FORMACIONES SUPERFICIALES

2.2.3.1 Coladas de Lava

Sus afloramientos se encuentran dispersos dentro del área de estudio en las márgenes del río Pastaza. Las coladas pertenecen a los flujos de lava del volcán Tungurahua de composición andesíticas básicas que se canalizaron por el antiguo valle del río Pastaza, depositándose sobre depósitos aluviales antiguos, a veces directamente sobre la roca metamórfica, especialmente en las partes altas. En los ríos Blanco, Verde y Machay las lavas se encuentran depositadas hasta 300 m aguas arriba desde la desembocadura actual en el río Pastaza.

Los testigos del sondeo PT-104 (Mapa 2, anexo de mapas) ubicado en el río Verde muestra un registro de tramos escoráceos de 1 a 2 m de espesor hacia la base y tope, mientras que en la parte intermedia están compuestos de lavas columnares, masivas, y vesiculares, a veces con intercalaciones de depósitos laharíticos, lo que indica que los flujos se depositaron durante varios eventos en un lapso de tiempo relativamente corto. Además por su composición se asemejan a las lavas depositadas por el edificio volcánico Tungurahua I considerado de edad Pleistocénica (Hall et al., 1999)

Los principales afloramientos se encuentran en los poblados de la Merced, El Placer y San Vicente y río Verde, donde los flujos de lava rellenaron el cauce antiguo del río Pastaza y forman unas pequeñas mesetas que alcanzan espesores de hasta 100 m.

2.2.3.2 Aluviales Antiguos

Son depósitos aluviales anteriores a los flujos de colada de lava del volcán Tungurahua y yacen directamente sobre las rocas metamórficas, estando relacionados principalmente al cauce antiguo del río Pastaza. Actualmente se encuentran esparcidos a lo largo del cauce del río Pastaza, pero los afloramientos

principales se encuentran en los sectores de río Verde y poblaciones de San Vicente y San Francisco.

Están constituidos de bloques y gravas de origen volcánico y metamórfico con una matriz que varía de arenosa a limo – arcillosa. El espesor puede variar de 30 a 40 m en la parte central del antiguo cauce y disminuye hasta desaparecer hacia los flancos. En el sondeo PT-106 (Mapa 2, Anexo 12), ubicado en el valle del río Verde, el aluvial tiene un espesor de 14 m. (INECEL, 1989)

2.2.3.3 Aluviales Modernos

Son depósitos aluviales posteriores a los flujos de colada de lava del volcán Tungurahua y yacen sobre las coladas de lava o directamente sobre las rocas del basamento.

Al igual que los aluviales antiguos están constituidos de bloques y gravas de origen volcánico y metamórfico con una matriz que varía de arenosa a limo – arcillosa.

2.2.3.4 Terrazas Aluviales

Corresponden a acumulaciones aluviales continuas debido a procesos dinámicos de desbordamiento en periodos de crecida. Son depósitos de terraza que se localiza en las dos márgenes tanto del río Pastaza como de los ríos secundarios.

Se encuentran ubicados sobre las coladas de lavas. Estos depósitos están compuestos aproximadamente de 35% de bloques mayores a 70 cm, 50% de cantos y gravas subredondeados a redondeados y 15% de matriz arenosa. La composición de los bloques en su mayoría son volcánicos con bloques metamórficos en el río Pastaza, mientras que en los ríos secundarios su composición es mayormente bloques metamórficos con un pequeño porcentaje de bloques intrusivos.

2.2.3.5 Conos de Deyección

Son depósitos de poca extensión areal, compuesto de gravas y bloques de diferente litología, mal sorteo, con una matriz variable entre arena y arcilla; estos depósitos son producto de flujos de materiales sueltos que se depositan en la parte baja de las principales depresiones morfológicas, accionados principalmente por el agua.

2.2.3.6 Depósitos Coluviales

Se encuentran ubicados en los márgenes tanto del río Pastaza como de los ríos secundarios. Pertenecen a depósitos de escombros de talud, deslizamientos antiguos y recientes, que se han generado en el perfil de meteorización de las rocas del basamento.

En general estos depósitos se encuentran constituidos por una mezcla heterogénea de bloques y gravas angulares a subangulares de litología relacionada a la roca madre dentro de una matriz arcillo limosa. Los espesores observados en los cortes de la carretera, varían de 1 a 20 m.

CAPITULO 3.

CLASIFICACIONES GEOMECÁNICAS DEL MACIZO ROCOSO DEL TÚNEL DE CONDUCCIÓN

3.1 INTRODUCCION.

El objetivo de clasificar geomecánicamente el macizo rocoso donde se ubica el trazado del túnel de conducción, es establecer valores estimativos sobre su calidad y resistencia para la aplicación durante la etapa constructiva.

Se emplearon dos sistemas de clasificación geomecánica: el índice RMR (Rock Mass Rating) propuesto por Bieniawski (1989), y el índice Q (Rock Mass Quality Number) propuesto por Barton & Grimstad (1994).

3.2 CLASIFICACIONES GEOMECÁNICAS UTILIZADAS.

- ***El Índice RMR.***

El Sistema de Valoración del Macizo Rocos RMR, más conocido como Clasificación de Bieniawski RMR, fue desarrollado por Bieniawski durante 1972 y 1973, modificado años más tarde considerando casos históricos disponibles, conforme a los estándares y procedimientos internacionales.

Los siguientes parámetros son usados para clasificar un macizo rocoso utilizando el Sistema RMR:

- Resistencia a la compresión uniaxial de la roca
- Índice de la Calidad de la Roca (RQD)
- Espaciado entre discontinuidades.
- Condiciones de las discontinuidades
- Condiciones de Infiltraciones de agua
- Orientaciones de las discontinuidades con respecto a la excavación.

El procedimiento para la obtención del índice RMR se basa generalmente en valorar los 5 primeros parámetros del macizo rocoso, luego obtener una puntuación, y acto seguido efectuar una corrección por orientación de discontinuidades con respecto a la dirección del túnel. Con esto se obtiene un valor numérico que varía de 0 a 100. El macizo rocoso puede ser clasificado en 5 clases (I - V). Las tablas estandarizadas para la valorización de los parámetros se muestran en el Anexo 4.

- **El Índice Q**

El sistema de clasificación de macizos rocosos mediante el índice Q permite estimar parámetros geotécnicos del macizo y diseñar sostenimientos para túneles y cavernas subterráneas. El índice está basado en una evaluación numérica de 6 parámetros relacionados en la siguiente expresión:

$$Q = \frac{RQD}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a} \times \frac{J_w}{SRF}$$

Los seis parámetros son:

<i>RQD</i>	=	Índice de Calidad de la Roca
<i>J_n</i>	=	Número de familias de discontinuidades
<i>J_r</i>	=	Rugosidad de las discontinuidades.
<i>J_a</i>	=	Alteración de las discontinuidades
<i>J_w</i>	=	Coefficiente de reducción debido a la presencia de agua
<i>SRF</i>	=	Factor de reducción debido a los esfuerzos.

Los parámetros individuales son evaluados mediante observaciones y mediciones obtenidas en el terreno ya sea en afloramientos o en sondeos, valorándolos en base a tablas estandarizadas a través de un método descriptivo. Las tablas utilizadas se presentan en el Anexo 5.

Dispuestos en pares, los 6 parámetros expresan los tres principales factores que deciden la estabilidad en una obra subterránea.

$$\frac{RQD}{J_n} = \text{Grado de diaclasamiento (Tamaño de los bloques)}$$

$$\frac{J_r}{J_a} = \text{Fricción de las diaclasas (Resistencia al corte entre bloques).}$$

$$\frac{J_w}{SRF} = \text{Esfuerzo activo.}$$

El índice Q varía entre 0.001 y 1000, y el macizo rocoso puede ser clasificado en 9 clases. La tabla estandarizada para la clasificación del macizo rocoso se muestran en la Tabla 5.7 del Anexo 5.

3.2.1 DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE RMR

Para la clasificación del macizo rocoso a través de índice RMR se realiza primeramente una zonificación del trazado considerando la homogeneidad geológica de los terrenos, principalmente litología y estructuras. Luego se selecciona varios sitios de observación representativos de cada zona para evaluar los parámetros de la clasificación

En este trabajo se han considerado 7 zonas a lo largo del trazado del túnel, que coinciden con las unidades litológicas identificadas en la geología local (ver capítulo 2). Sin embargo, en cada zona se han considerado también como sitios de observación especiales, los correspondientes a las zonas de falla determinados en la geología local. De esta forma se tienen 23 sitios de observación en superficie del macizo rocoso. Por otra parte, se adoptó el criterio de Bieniawski (1989), que recomienda obtener la valoración del índice RMR para cada una de las familias de discontinuidades, que se identifican en los sitios de observación, y por razones de seguridad, adoptar el valor mas bajo de RMR, para caracterizar el macizo rocoso.

Los parámetros para la valoración del índice RMR en este trabajo fueron obtenidos de la siguiente forma:

1.- Resistencia a la Compresión Simple.- Se obtiene de los ensayos de laboratorio realizados por INECEL (1989) y GeoConsul (2005), además se obtuvieron valores indirectos de resistencia a la compresión simple utilizando el método de ensayo de carga puntual con la siguiente relación:

$$\sigma_c = (14 + 0.175 \times D) \times I_s \qquad I_s = P/D^2$$

Donde:

σ_c = Resistencia a la Compresión Simple (MPa)

I_s = Índice de Resistencia a la Carga Puntual (MPa)

P = Carga necesaria para romper la muestra en el ensayo de carga puntual (KN)

D = Diámetro de la muestra ensayada (mm)

Sin embargo, la mayoría de los valores utilizados corresponden a ensayos de resistencia a la compresión simple. Los obtenidos con la relación I_s de ensayos de carga puntual, solo se utilizaron para la unidad litológica 3, debido a que no existen ensayos de laboratorio. Además en sitios correspondientes a zonas fallas, la resistencia a la compresión simple fue estimada en base a índices de campo (Tabla 6.8, Anexo 6)

Los valores de resistencia a la compresión simple para cada unidad litológica se muestran en las tablas del Anexo 6

2.- RQD.- Se obtuvieron a partir de las observaciones en los afloramientos de los sitios de observación.

Para la obtención del RQD en afloramientos se utilizó la siguiente relación sugerida para macizos rocosos (Palmstrom, 1982):

$$RQD = 115 - 3.3J_v ,$$

Donde J_v es la suma del número de juntas por unidad de longitud para todas las familias de discontinuidades, conocido como el número volumétrico de discontinuidades y se obtiene de la siguiente relación:

$$J_v = (1 / E_{s1}) + (1 / E_{s2}) + \dots + (1 / E_{sn})$$

Donde E_{s1} , E_{s2} ... E_{sn} corresponden al espaciado de las familias de discontinuidades 1, 2,...n.

3.- Espaciado de las Juntas.- Fueron obtenidos de las observaciones en los afloramientos.

4.- Condiciones de las discontinuidades.- Fueron obtenidos de las observaciones en los afloramientos.

5.- Presencia de Agua.- Evaluado a través de observación en los afloramientos y por medio del cálculo del caudal de infiltración en base a pruebas de permeabilidad disponible en sondeos (Anexo 3).

La ubicación de los sitios de observación se presentan en el mapa 2 (Anexo 12) y el resultado de las observaciones en superficie para cada sitio se encuentran en el Anexo 7.

A continuación se presentan los resultados de las clasificaciones del macizo rocoso RMR, para cada zona. La clasificación del macizo se obtuvo directamente de los sitios de observación, tomando en cuenta las discontinuidades presentes en cada sitio de evaluación:

- Zona 1

Evaluado a través de los resultados de dos sitios de observación, corresponde principalmente a un macizo de calidad Media y clase III y a un macizo de calidad Mala y clase IV en el tramo correspondiente a una zona de falla. Los resultados se muestran en los cuadros 1 y 2.

CUADRO 1a. RMR Sitio de Observación 1.

Litología: Esquistos micáceos con grafito, intercalados con esquistos graf.					
Observaciones:					
Dirección de Excavación del Túnel: N83°E					
PARAMETRO	Familia de Juntas	F1 (80/250)		J2 (64/175)	
		Valor	Puntaje	Valor	Puntaje
Resistencia a la compresión simple (Mpa)		54	7	54	7
RQD (%)		86	17	86	17
Espaciamiento entre diaclasas (m)		0.30	10	0.25	10
Longitud de las diaclasas (m)		4	2	4	2
Abertura de las diaclasas (mm)		0.1	5	0.5	4
Rugosidad de las juntas		ligera	3	rugosa	5
Tipo y espesor de relleno de juntas (mm)		duro <5	4	duro <5	4
Meteorización de las paredes de las juntas		ligera	5	ligera	5
Agua en las juntas		humedo	10	humedo	10
RMR Primario		63		64	
Corrección por Orientación de las Juntas		regular	-5	muy des.	-12
Valoración RMR		58		52	
Calidad y Clase del Macizo		Media, Clase III		Media, Clase III	
Cohesión (KPa)		300 a 400		300 a 400	
Fricción (grados)		35 a 45		35 a 45	

CUADRO 1b. RMR Sitio de Observación 1.

Litología: Esquistos micáceos con grafito, intercalados con esquistos graf.					
Observaciones:					
Dirección de Excavación del Túnel: N83°E					
PARAMETRO	Familia de Juntas	J6 (47/045)		Alt. (39/260)	
		Valor	Puntaje	Valor	Puntaje
Resistencia a la compresión simple (Mpa)		54	7	54	7
RQD (%)		86	17	86	17
Espaciamiento entre diaclasas (m)		1.5	15	1.50	15
Longitud de las diaclasas (m)		1	6	5	2
Abertura de las diaclasas (mm)		0.5	4	0.5	4
Rugosidad de las juntas		rugosa	5	rugosa	5
Tipo y espesor de relleno de juntas (mm)		duro <5	4	duro >5	2
Meteorización de las paredes de las juntas		ligera	5	ligera	5
Agua en las juntas		humedo	10	humedo	10
RMR Primario		73		67	
Corrección por Orientación de las Juntas		muy fav.	0	desfav.	-10
Valoración RMR		73		57	
Calidad y Clase del Macizo		Buena, Clase II		Media, Clase III	
Cohesión (KPa)		300 a 400		300 a 400	
Fricción (grados)		35 a 45		35 a 45	

CUADRO 2. RMR Sitio de Observación 2.

Litología: Esquisto cuarzo-micáceo							
Observaciones: Contacto litológico fallado, zonas cizalladas 30-50 cm.							
Dirección de Excavación del Túnel: N83°E							
PARAMETRO	Familia de Juntas	F3 (80/282)		J1 (82/350)		J6 (60/072)	
		Valor	Puntaje	Valor	Puntaje	Valor	Puntaje
Resistencia a la compresión simple (Mpa)		25	4	25	4	25	4
RQD (%)		69	13	69	13	69	13
Espaciamiento entre diaclasas (m)		0.15	8	0.25	10	0.30	10
Longitud de las diaclasas (m)		4	2	15	1	4	2
Abertura de las diaclasas (mm)		>10	0	0.4	4	5.0	1
Rugosidad de las juntas		pulida	0	ligera	3	lisa	1
Tipo y espesor de relleno de juntas (mm)		suave >5	0	suave <5	2	suave >5	0
Meteorización de las paredes de las juntas		descomp.	0	alta	1	alta	1
Agua en las juntas		flujo	0	goteo	4	goteo	4
RMR Primario		27		42		36	
Corrección por Orientación de las Juntas		regular	-5	muy des.	-12	muy fav.	0
Valoración RMR		22		30		36	
Calidad y Clase del Macizo		Mala, Clase IV		Mala, Clase IV		Mala, Clase IV	
Cohesión (KPa)		100 a 200		200 a 300		100 a 200	
Fricción (grados)		15 a 25		25 a 45		15 a 25	

- Zona 2

Evaluado a través de los resultados de tres sitios de observación, corresponde principalmente a un macizo de calidad Media a Buena correspondiente a las Clases II y III. Los resultados se muestran en los cuadros 3 al 5.

CUADRO 3. RMR Sitio de Observación 3.

Litología: Esquistos cuarzo-micáceos con grafito							
Observaciones:							
Dirección de Excavación del Túnel: S88°W							
PARAMETRO	Familia de Juntas	F3 (80/280)		J1 (82/355)		J5 (25/330)	
		Valor	Puntaje	Valor	Puntaje	Valor	Puntaje
Resistencia a la compresión simple (Mpa)		109	12	109	12	109	12
RQD (%)		84	17	84	17	84	17
Espaciamiento entre diaclasas (m)		0.30	10	0.50	10	0.25	10
Longitud de las diaclasas (m)		4	2	4	2	2	4
Abertura de las diaclasas (mm)		0.5	4	0.1	5	0.5	4
Rugosidad de las juntas		ligera	3	ligera	3	muy rug.	6
Tipo y espesor de relleno de juntas (mm)		duro <5	4	no	6	duro <5	4
Meteorización de las paredes de las juntas		moderada	3	ligera	5	moderada	3
Agua en las juntas		goteo	4	goteo	4	humedo	10
RMR Primario		59		64		70	
Corrección por Orientación de las Juntas		muy fav.	0	muy des.	-12	regular	-5
Valoración RMR		59		52		65	
Calidad y Clase del Macizo		Media, Clase III		Media, Clase III		Buena, Clase II	
Cohesión (KPa)		200 a 300		300 a 400		300 a 400	
Fricción (grados)		25 a 45		35 a 45		35 a 45	

CUADRO 4. RMR Sitio de Observación 4.

Litología: Esquisto cuarzo-micáceo grafitoso								
Observaciones:								
Dirección de Excavación del Túnel: S88°W								
PARAMETRO	Familia de Juntas		F2 (85/110)		J1 (75/355)		J2 (60/170)	
	Valor	Puntaje	Valor	Puntaje	Valor	Puntaje	Valor	Puntaje
Resistencia a la compresión simple (Mpa)	109	12	109	12	109	12	109	12
RQD (%)	81	17	81	17	81	17	81	17
Espaciamiento entre diaclasas (m)	0.20	10	0.30	10	0.50	10	0.50	10
Longitud de las diaclasas (m)	5	2	2	4	2	4	2	4
Abertura de las diaclasas (mm)	0.5	4	0.1	5	0.5	4	0.5	4
Rugosidad de las juntas	ligera	3	ligera	3	ligera	3	ligera	3
Tipo y espesor de relleno de juntas (mm)	suave <5	2	no	6	no	6	no	6
Meteorización de las paredes de las juntas	moderada	3	ligera	5	ligera	5	ligera	5
Agua en las juntas	seco	15	seco	15	seco	15	seco	15
RMR Primario	68		77		76			
Corrección por Orientación de las Juntas	regular	-5	muy des.	-12	muy des.	-12	muy des.	-12
Valoración RMR	63		65		64			
Calidad y Clase del Macizo	Buena, Clase II		Buena, Clase II		Buena, Clase II			
Cohesión (KPa)	300 a 400		300 a 400		300 a 400			
Fricción (grados)	35 a 45		35 a 45		35 a 45			

CUADRO 5a. RMR Sitio de Observación 5.

Litología: Esquisto grafitoso						
Observaciones:						
Dirección de Excavación del Túnel: S88°W						
PARAMETRO	Familia de Juntas		F3 (79/282)		J3 (70/200)	
	Valor	Puntaje	Valor	Puntaje	Valor	Puntaje
Resistencia a la compresión simple (Mpa)	109	12	109	12	109	12
RQD (%)	74	13	74	13	74	13
Espaciamiento entre diaclasas (m)	0.25	10	0.30	10	0.30	10
Longitud de las diaclasas (m)	2	4	2	4	2	4
Abertura de las diaclasas (mm)	0.5	4	2.0	1	2.0	1
Rugosidad de las juntas	lisa	1	ligera	3	ligera	3
Tipo y espesor de relleno de juntas (mm)	no	6	suave >5	0	suave >5	0
Meteorización de las paredes de las juntas	moderada	3	moderada	3	moderada	3
Agua en las juntas	seco	15	seco	15	seco	15
RMR Primario	68		61		61	
Corrección por Orientación de las Juntas	muy fav.	0	muy des.	-12	muy des.	-12
Valoración RMR	68		49		49	
Calidad y Clase del Macizo	Buena, Clase II		Media, Clase III		Media, Clase III	
Cohesión (KPa)	300 a 400		300 a 400		300 a 400	
Fricción (grados)	35 a 45		35 a 45		35 a 45	

CUADRO 5b. RMR Sitio de Observación 5.

Litología: Esquisto grafitoso					
Observaciones:					
Dirección de Excavación del Túnel: S88°W					
PARAMETRO	Familia de Juntas	J5 (28/090)		Alt (85/300)	
		Valor	Puntaje	Valor	Puntaje
Resistencia a la compresión simple (Mpa)		109	12	109	12
RQD (%)		74	13	74	13
Espaciamiento entre diaclasas (m)		0.25	10	1.00	15
Longitud de las diaclasas (m)		4	2	2	4
Abertura de las diaclasas (mm)		0.5	4	0.5	4
Rugosidad de las juntas		ligera	3	ligera	3
Tipo y espesor de relleno de juntas (mm)		no	6	no	6
Meteorización de las paredes de las juntas		moderada	3	moderada	3
Agua en las juntas		seco	15	seco	15
RMR Primario		68		75	
Corrección por Orientación de las Juntas		desfav.	-10	muy fav.	0
Valoración RMR		58		75	
Calidad y Clase del Macizo		Media, Clase III		Buena, Clase II	
Cohesión (KPa)		300 a 400		300 a 400	
Fricción (grados)		35 a 45		35 a 45	

- Zona 3

Evaluado a través de los resultados de cuatro sitios de observación, corresponde principalmente a un macizo de calidad Media a Buena correspondiente a las Clases II y III, y a un macizo de calidad mala de Clase IV en tramo correspondiente a una zona de falla. Los resultados se muestran en los cuadros 6 al 9.

CUADRO 6a. RMR Sitio de Observación 6.

Litología: Esquisto de cuarzo-sericita-clorita					
Observaciones:					
Dirección de Excavación del Túnel: S88°W					
PARAMETRO	Familia de Juntas	F4 (80/078)		J1 (60/352)	
		Valor	Puntaje	Valor	Puntaje
Resistencia a la compresión simple (Mpa)		131	12	131	12
RQD (%)		95	20	95	20
Espaciamiento entre diaclasas (m)		0.50	10	1.00	15
Longitud de las diaclasas (m)		2	4	5	2
Abertura de las diaclasas (mm)		0.1	5	0.5	4
Rugosidad de las juntas		ligera	3	ligera	3
Tipo y espesor de relleno de juntas (mm)		no	6	no	6
Meteorización de las paredes de las juntas		moderada	3	ligera	5
Agua en las juntas		humedo	10	humedo	10
RMR Primario		73		77	
Corrección por Orientación de las Juntas		regular	-5	muy des.	-12
Valoración RMR		68		65	
Calidad y Clase del Macizo		Buena, Clase II		Buena, Clase II	
Cohesión (KPa)		300 a 400		300 a 400	
Fricción (grados)		35 a 45		35 a 45	

CUADRO 6b. RMR Sitio de Observación 6.

Litología: Esquisto de cuarzo-sericita-clorita					
Observaciones:					
Dirección de Excavación del Túnel: S88°W					
PARAMETRO	Familia de Juntas	J4 (62/140)		Alt (65/090)	
		Valor	Puntaje	Valor	Puntaje
Resistencia a la compresión simple (Mpa)		131	12	131	12
RQD (%)		95	20	95	20
Espaciamiento entre diaclasas (m)		0.50	10	1.00	15
Longitud de las diaclasas (m)		2	4	5	2
Abertura de las diaclasas (mm)		0.5	4	0.5	4
Rugosidad de las juntas		ligera	3	ligera	3
Tipo y espesor de relleno de juntas (mm)		no	6	no	6
Meteorización de las paredes de las juntas		ligera	5	ligera	5
Agua en las juntas		humedo	10	humedo	10
RMR Primario		74		77	
Corrección por Orientación de las Juntas		muy des.	-12	regular	-5
Valoración RMR		62		72	
Calidad y Clase del Macizo		Buena, Clase II		Buena, Clase II	
Cohesión (KPa)		300 a 400		300 a 400	
Fricción (grados)		35 a 45		35 a 45	

CUADRO 7. RMR Sitio de Observación 7.

Litología: Esquisto-gneisico de cuarzo-sericita-clorita							
Observaciones: Zona fallada, 20 m en total, zonas cizalladas de 50-60 cm							
Dirección de Excavación del Túnel: S88°W							
PARAMETRO	Familia de Juntas	F4 (65/080)		J1 (70/355)		J2 (65/175)	
		Valor	Puntaje	Valor	Puntaje	Valor	Puntaje
Resistencia a la compresión simple (Mpa)		25	4	25	4	25	4
RQD (%)		75	17	75	17	75	17
Espaciamiento entre diaclasas (m)		0.16	8	0.25	10	0.50	10
Longitud de las diaclasas (m)		3	4	3	4	5	2
Abertura de las diaclasas (mm)		2.0	1	0.5	4	0.5	4
Rugosidad de las juntas		pulida	0	ligera	3	ligera	3
Tipo y espesor de relleno de juntas (mm)		suave >5	0	no	6	no	6
Meteorización de las paredes de las juntas		descomp.	0	moderada	3	moderada	3
Agua en las juntas		humedo	10	humedo	10	humedo	10
RMR Primario		44		61		59	
Corrección por Orientación de las Juntas		regular	-5	muy des.	-12	muy des.	-12
Valoración RMR		39		49		47	
Calidad y Clase del Macizo		Mala, Clase IV		Media, Clase III		Media, Clase III	
Cohesión (KPa)		200 a 300		300 a 400		200 a 300	
Fricción (grados)		25 a 45		35 a 45		25 a 45	

CUADRO 8a. RMR Sitio de Observación 8.

Litología: Gneis esquistoso cuarzo-plagioclasa					
Observaciones:					
Dirección de Excavación del Túnel: S88°W					
PARAMETRO	Familia de Juntas	F2 (80/108)		J1 (70/352)	
		Valor	Puntaje	Valor	Puntaje
Resistencia a la compresión simple (Mpa)		131	12	131	12
RQD (%)		92	20	92	20
Espaciamiento entre diaclasas (m)		0.50	10	0.50	10
Longitud de las diaclasas (m)		5	2	3	4
Abertura de las diaclasas (mm)		0.5	4	0.5	4
Rugosidad de las juntas		ligera	3	ligera	3
Tipo y espesor de relleno de juntas (mm)		no	6	no	6
Meteorización de las paredes de las juntas		moderada	3	ligera	5
Agua en las juntas		mojado	7	mojado	7
RMR Primario		67		71	
Corrección por Orientación de las Juntas		regular	-5	muy des.	-12
Valoración RMR		62		59	
Calidad y Clase del Macizo		Buena, Clase II		Media, Clase III	
Cohesión (KPa)		300 a 400		300 a 400	
Fricción (grados)		35 a 45		35 a 45	

CUADRO 8b. RMR Sitio de Observación 8.

Litología: Gneis esquistoso cuarzo-plagioclasa					
Observaciones:					
Dirección de Excavación del Túnel: S88°W					
PARAMETRO	Familia de Juntas	J2 (80/170)		J4 (65/334)	
		Valor	Puntaje	Valor	Puntaje
Resistencia a la compresión simple (Mpa)		131	12	131	12
RQD (%)		92	20	92	20
Espaciamiento entre diaclasas (m)		0.50	10	1.00	15
Longitud de las diaclasas (m)		3	4	5	2
Abertura de las diaclasas (mm)		0.5	4	0.1	5
Rugosidad de las juntas		ligera	3	ligera	3
Tipo y espesor de relleno de juntas (mm)		no	6	no	6
Meteorización de las paredes de las juntas		ligera	5	ligera	5
Agua en las juntas		mojado	7	mojado	7
RMR Primario		71		75	
Corrección por Orientación de las Juntas		muy des.	-12	muy des.	-12
Valoración RMR		59		63	
Calidad y Clase del Macizo		Media, Clase III		Buena, Clase II	
Cohesión (KPa)		300 a 400		300 a 400	
Fricción (grados)		35 a 45		35 a 45	

CUADRO 9a. RMR Sitio de Observación 9.

Litología: Gneis esquistoso de plagioclasa-cuarzo-sericita					
Observaciones: Límite con la unidad 4					
Dirección de Excavación del Túnel: S88°W					
PARAMETRO	Familia de Juntas	F1 (85/245)		J1 (69/350)	
		Valor	Puntaje	Valor	Puntaje
Resistencia a la compresión simple (Mpa)		131	12	131	12
RQD (%)		81	17	81	17
Espaciamiento entre diaclasas (m)		0.25	10	0.30	10
Longitud de las diaclasas (m)		15	1	6	2
Abertura de las diaclasas (mm)		0.5	4	0.5	4
Rugosidad de las juntas		lisa	1	lisa	1
Tipo y espesor de relleno de juntas (mm)		duro <5	4	no	6
Meteorización de las paredes de las juntas		ligera	5	ligera	5
Agua en las juntas		flujo	0	flujo	0
RMR Primario		54		57	
Corrección por Orientación de las Juntas		muy fav.	0	muy des.	-12
Valoración RMR		54		45	
Calidad y Clase del Macizo		Media, Clase III		Media, Clase III	
Cohesión (KPa)		200 a 300		200 a 300	
Fricción (grados)		25 a 45		25 a 45	

CUADRO 9b. RMR Sitio de Observación 9.

Litología: Gneis esquistoso de plagioclasa-cuarzo-sericita					
Observaciones: Límite con la unidad 4					
Dirección de Excavación del Túnel: S88°W					
PARAMETRO	Familia de Juntas	J3 (58/190)		J4 (62/325)	
		Valor	Puntaje	Valor	Puntaje
Resistencia a la compresión simple (Mpa)		131	12	131	12
RQD (%)		81	17	81	17
Espaciamiento entre diaclasas (m)		1.00	15	0.5	10
Longitud de las diaclasas (m)		6	2	5	2
Abertura de las diaclasas (mm)		0.5	4	0.5	4
Rugosidad de las juntas		lisa	1	lisa	1
Tipo y espesor de relleno de juntas (mm)		no	6	duro <5	4
Meteorización de las paredes de las juntas		ligera	5	ligera	5
Agua en las juntas		flujo	0	flujo	0
RMR Primario		62		55	
Corrección por Orientación de las Juntas		muy des.	-12	muy des.	-12
Valoración RMR		50		43	
Calidad y Clase del Macizo		Media, Clase III		Media, Clase III	
Cohesión (KPa)		300 a 400		200 a 300	
Fricción (grados)		35 a 45		25 a 45	

- **Zona 4**

Evaluado a través de los resultados de dos sitios de observación, corresponde principalmente a un macizo de calidad Media correspondiente a las Clases III. Los resultados se muestran en los cuadros 10 y 11.

CUADRO 10. RMR Sitio de Observación 10.

Litología: Esquistos cuarzo-plagioclasa y mica							
Observaciones:							
Dirección de Excavación del Túnel: S88°W							
PARAMETRO	Familia de Juntas	F4 (79/078)		J1 (66/350)		J2 (55/180)	
		Valor	Puntaje	Valor	Puntaje	Valor	Puntaje
Resistencia a la compresión simple (Mpa)		104	12	104	12	104	12
RQD (%)		100	20	100	20	100	20
Espaciamiento entre diaclasas (m)		0.60	15	0.50	10	1.00	15
Longitud de las diaclasas (m)		15	1	15	1	6	2
Abertura de las diaclasas (mm)		0.5	4	0.7	4	0.5	4
Rugosidad de las juntas		lisa	1	lisa	1	lisa	1
Tipo y espesor de relleno de juntas (mm)		no	6	no	6	no	6
Meteorización de las paredes de las juntas		ligera	5	ligera	5	ligera	5
Agua en las juntas		humedo	10	humedo	10	humedo	10
RMR Primario		74		69		75	
Corrección por Orientación de las Juntas	regular	-5		muy des.	-12	muy des.	-12
Valoración RMR		69		57		63	
Calidad y Clase del Macizo		Buena, Clase II		Media, Clase III		Buena, Clase II	
Cohesión (KPa)		300 a 400		300 a 400		300 a 400	
Fricción (grados)		35 a 45		35 a 45		35 a 45	

CUADRO 11. RMR Sitio de Observación 11.

Litología: Gneis de cuarzo-feldespato-biotita-clorita							
Observaciones: Contacto fallado con la unidad 5							
Dirección de Excavación del Túnel: S88°W							
PARAMETRO	Familia de Juntas	F4 (88/084)		J5 (35/174)		J1 (44/335)	
		Valor	Puntaje	Valor	Puntaje	Valor	Puntaje
Resistencia a la compresión simple (Mpa)		25	4	25	4	25	4
RQD (%)		86	17	86	17	86	17
Espaciamiento entre diaclasas (m)		0.20	10	0.40	10	0.70	15
Longitud de las diaclasas (m)		15	1	14	1	16	1
Abertura de las diaclasas (mm)		2.0	1	0.5	4	0.5	4
Rugosidad de las juntas		lisa	1	lisa	1	lisa	1
Tipo y espesor de relleno de juntas (mm)		suave <5	2	no	6	no	6
Meteorización de las paredes de las juntas		moderada	3	ligera	5	ligera	5
Agua en las juntas		humedo	10	humedo	10	humdo	0
RMR Primario		49		58		53	
Corrección por Orientación de las Juntas	regular	-5		regular	-5	regular	-5
Valoración RMR		44		53		48	
Calidad y Clase del Macizo		Media, Clase III		Media, Clase III		Media, Clase III	
Cohesión (KPa)		200 a 300		200 a 300		200 a 300	
Fricción (grados)		25 a 45		25 a 45		25 a 45	

- **Zona 5**

Evaluado a través de los resultados de cuatro sitios de observación, corresponde principalmente a un macizo de calidad Media determinado como Clase III, y a un macizo de calidad Mala de Clase IV en el tramo correspondiente a una zona de falla. Los resultados se muestran en los cuadros 12 a 15.

CUADRO 12. RMR Sitio de Observación 12.

Litología: Gneis de plagioclas-cuarzo-mica							
Observaciones:							
Dirección de Excavación del Túnel: S88°W							
PARAMETRO	Familia de Juntas	F1 (80/255)		J1 (65/340)		J5 (35/160)	
		Valor	Puntaje	Valor	Puntaje	Valor	Puntaje
Resistencia a la compresión simple (Mpa)		59	7	59	7	59	7
RQD (%)		91	20	91	20	91	20
Espaciamiento entre diaclasas (m)		0.25	10	0.45	10	1.00	15
Longitud de las diaclasas (m)		7	2	6	2	2	4
Abertura de las diaclasas (mm)		0.1	5	0.7	4	0.5	4
Rugosidad de las juntas		ligera	3	lisa	1	lisa	1
Tipo y espesor de relleno de juntas (mm)		duro <5	4	duro <5	4	duro <5	4
Meteorización de las paredes de las juntas		moderada	3	moderada	3	moderada	3
Agua en las juntas		seco	15	seco	15	seco	15
RMR Primario		69		66		73	
Corrección por Orientación de las Juntas		muy fav.	0	muy des.	-12	regular	-5
Valoración RMR		69		54		68	
Calidad y Clase del Macizo		Buena, Clase II		Media, Clase III		Buena, Clase II	
Cohesión (KPa)		300 a 400		300 a 400		300 a 400	
Fricción (grados)		35 a 45		35 a 45		35 a 45	

CUADRO 13. RMR Sitio de Observación 13.

Litología: Esquisto de plagioclasa-cuarzo-micas							
Observaciones: Zona de falla, intercalacion de esquistos micaceos.							
Dirección de Excavación del Túnel: S88°W							
PARAMETRO	Familia de Juntas	F1 (80/255)		J1 (65/350)		J5 (35/165)	
		Valor	Puntaje	Valor	Puntaje	Valor	Puntaje
Resistencia a la compresión simple (Mpa)		25	4	25	4	25	4
RQD (%)		66	13	66	13	66	13
Espaciamiento entre diaclasas (m)		0.10	8	0.40	10	0.40	10
Longitud de las diaclasas (m)		15	1	15	1	15	1
Abertura de las diaclasas (mm)		5.0	1	0.5	4	0.1	5
Rugosidad de las juntas		lisa	1	ligera	3	ligera	3
Tipo y espesor de relleno de juntas (mm)		suave >5	0	no	6	no	6
Meteorización de las paredes de las juntas		descomp.	0	moderada	3	moderada	3
Agua en las juntas		humedo	10	seco	15	seco	15
RMR Primario		38		59		60	
Corrección por Orientación de las Juntas		muy fav.	0	muy des.	-12	regular	-5
Valoración RMR		38		47		55	
Calidad y Clase del Macizo		Mala, Clase IV		Media, Clase III		Media, Clase III	
Cohesión (KPa)		100 a 200		200 a 300		200 a 300	
Fricción (grados)		15 a 25		25 a 45		25 a 45	

CUADRO 14a. RMR Sitio de Observación 14.

Litología: Gneis de cuarzo-plagioclasa-micas-anfibol					
Observaciones:					
Dirección de Excavación del Túnel: S88°W					
PARAMETRO	Familia de Juntas	F3 (85/270)		J1 (60/350)	
		Valor	Puntaje	Valor	Puntaje
Resistencia a la compresión simple (Mpa)		59	7	59	7
RQD (%)		84	17	84	17
Espaciamiento entre diaclasas (m)		0.35	10	0.40	10
Longitud de las diaclasas (m)		5	2	2	4
Abertura de las diaclasas (mm)		0.5	4	0.5	4
Rugosidad de las juntas		lisa	1	ligera	3
Tipo y espesor de relleno de juntas (mm)		no	6	no	6
Meteorización de las paredes de las juntas		moderada	3	moderada	3
Agua en las juntas		seco	15	seco	15
RMR Primario		65		69	
Corrección por Orientación de las Juntas		muy fav.	0	muy des.	-12
Valoración RMR		65		57	
Calidad y Clase del Macizo		Buena, Clase II		Media, Clase III	
Cohesión (KPa)		300 a 400		300 a 400	
Fricción (grados)		35 a 45		35 a 45	

CUADRO 14b. RMR Sitio de Observación 14.

Litología: Gneis de cuarzo-plagioclasa-micas-anfibol					
Observaciones:					
Dirección de Excavación del Túnel: S88°W					
PARAMETRO	Familia de Juntas	J2 (75/179)		J4 (75/135)	
		Valor	Puntaje	Valor	Puntaje
Resistencia a la compresión simple (Mpa)		59	7	59	7
RQD (%)		84	17	84	17
Espaciamiento entre diaclasas (m)		0.40	10	0.60	15
Longitud de las diaclasas (m)		2	4	3	4
Abertura de las diaclasas (mm)		0.5	4	0.5	4
Rugosidad de las juntas		ligera	3	ligera	3
Tipo y espesor de relleno de juntas (mm)		no	6	no	6
Meteorización de las paredes de las juntas		moderada	3	moderada	3
Agua en las juntas		seco	15	seco	15
RMR Primario		69		74	
Corrección por Orientación de las Juntas		muy des.	-12	muy des.	-12
Valoración RMR		57		62	
Calidad y Clase del Macizo		Media, Clase III		Buena, Clase II	
Cohesión (KPa)		300 a 400		300 a 400	
Fricción (grados)		35 a 45		35 a 45	

CUADRO 15a. RMR Sitio de Observación 15.

Litología: Gneis-granodiorita.					
Observaciones:					
Dirección de Excavación del Túnel: S88°W					
PARAMETRO	Familia de Juntas	F1 (75/255)		J1 (85/350)	
		Valor	Puntaje	Valor	Puntaje
Resistencia a la compresión simple (Mpa)		59	7	59	7
RQD (%)		83	17	83	17
Espaciamiento entre diaclasas (m)		0.30	10	0.40	10
Longitud de las diaclasas (m)		5	2	5	2
Abertura de las diaclasas (mm)		0.1	5	0.1	5
Rugosidad de las juntas		ligera	3	rugosa	5
Tipo y espesor de relleno de juntas (mm)		no	6	no	6
Meteorización de las paredes de las juntas		moderada	3	moderada	3
Agua en las juntas		humedo	10	humedo	10
RMR Primario		63		65	
Corrección por Orientación de las Juntas		muy fav.	0	muy des.	-12
Valoración RMR		63		53	
Calidad y Clase del Macizo		Buena, Clase II		Media, Clase III	
Cohesión (KPa)		300 a 400		300 a 400	
Fricción (grados)		35 a 45		35 a 45	

CUADRO 15b. RMR Sitio de Observación 15.

Litología: Gneis-granodiorita.					
Observaciones:					
Dirección de Excavación del Túnel: S88°W					
PARAMETRO	Familia de Juntas	J6 (85/030)		J5 (40/325)	
		Valor	Puntaje	Valor	Puntaje
Resistencia a la compresión simple (Mpa)		59	7	59	7
RQD (%)		83	17	83	17
Espaciamiento entre diaclasas (m)		0.40	10	0.80	15
Longitud de las diaclasas (m)		2	4	3	4
Abertura de las diaclasas (mm)		0.1	5	0.1	5
Rugosidad de las juntas		rugosa	5	rugosa	5
Tipo y espesor de relleno de juntas (mm)		no	6	no	6
Meteorización de las paredes de las juntas		moderada	3	moderada	3
Agua en las juntas		humedo	10	humedo	10
RMR Primario		67		72	
Corrección por Orientación de las Juntas		muy des.	-12	regular	-5
Valoración RMR		55		67	
Calidad y Clase del Macizo		Media, Clase III		Buena, Clase II	
Cohesión (KPa)		300 a 400		300 a 400	
Fricción (grados)		35 a 45		35 a 45	

- **Zona 6**

Evaluado a través de los resultados de cinco sitios de observación, corresponde principalmente a un macizo de calidad Media designado como Clase III, y a un macizo de calidad Mala de Clase IV en el tramo correspondiente a una zona de falla. Los resultados se muestran en los cuadros 16 a 20

CUADRO 16a. RMR Sitio de Observación 16.

Litología: Gneis de cuarzo-cuarzo azul-plagioclasa-biotita-anfíbol					
Observaciones: Afloramiento a 30 m de una falla, contacto fallado con unidad 5					
Dirección de Excavación del Túnel: N81°W					
PARAMETRO	Familia de Juntas	F3 (74/286)		J2 (55/205)	
		Valor	Puntaje	Valor	Puntaje
Resistencia a la compresión simple (Mpa)		60	7	60	7
RQD (%)		64	13	64	13
Espaciamiento entre diaclasas (m)		0.15	8	0.30	10
Longitud de las diaclasas (m)		5	2	5	2
Abertura de las diaclasas (mm)		0.1	5	0.5	4
Rugosidad de las juntas		ligera	3	ligera	3
Tipo y espesor de relleno de juntas (mm)		no	6	no	6
Meteorización de las paredes de las juntas		moderada	3	moderada	3
Agua en las juntas		humedo	10	humedo	10
RMR Primario		57		58	
Corrección por Orientación de las Juntas		muy fav.	0	muy des.	-12
Valoración RMR		57		46	
Calidad y Clase del Macizo		Media, Clase III		Media, Clase III	
Cohesión (KPa)		200 a 300		200 a 300	
Fricción (grados)		25 a 45		25 a 45	

CUADRO 16b. RMR Sitio de Observación 16.

Litología: Gneis de cuarzo-cuarzo azul-plagioclasa-biotita-anfíbol					
Observaciones: Afloramiento a 30 m de una falla, contacto fallado con unidad 5					
Dirección de Excavación del Túnel: N81°W					
PARAMETRO	Familia de Juntas	J1 (65/320)		J4 (78/245)	
		Valor	Puntaje	Valor	Puntaje
Resistencia a la compresión simple (Mpa)		60	7	60	7
RQD (%)		64	13	64	13
Espaciamiento entre diaclasas (m)		0.35	10	0.40	10
Longitud de las diaclasas (m)		2	4	2	4
Abertura de las diaclasas (mm)		0.5	4	0.1	5
Rugosidad de las juntas		ligera	3	ligera	3
Tipo y espesor de relleno de juntas (mm)		no	6	no	6
Meteorización de las paredes de las juntas		moderada	3	moderada	3
Agua en las juntas		humedo	10	humedo	10
RMR Primario		60		61	
Corrección por Orientación de las Juntas		muy des.	-12	muy fav.	0
Valoración RMR		48		61	
Calidad y Clase del Macizo		Media, Clase III		Buena, Clase II	
Cohesión (KPa)		200 a 300		300 a 400	
Fricción (grados)		25 a 45		35 a 45	

CUADRO 17a. RMR Sitio de Observación 17.

Litología: Gneis de cuarzo-biotita-clorita, intercalado con cuarzo lechoso					
Observaciones: Zona de falla					
Dirección de Excavación del Túnel: N81°W					
PARAMETRO	Familia de Juntas	F1 (78/250)		J4 (72/135)	
		Valor	Puntaje	Valor	Puntaje
Resistencia a la compresión simple (Mpa)		25	4	25	4
RQD (%)		71	13	71	13
Espaciamiento entre diaclasas (m)		0.20	10	0.20	10
Longitud de las diaclasas (m)		15	1	15	1
Abertura de las diaclasas (mm)		2.0	1	2.0	1
Rugosidad de las juntas		pulida	0	pulida	0
Tipo y espesor de relleno de juntas (mm)		suave >5	0	suave >5	0
Meteorización de las paredes de las juntas		alta	1	alta	1
Agua en las juntas		seco	15	seco	15
RMR Primario		45		45	
Corrección por Orientación de las Juntas		muy fav.	0	regular	-5
Valoración RMR		45		40	
Calidad y Clase del Macizo		Media, Clase III		Mala, Clase IV	
Cohesión (KPa)		200 a 300		200 a 300	
Fricción (grados)		25 a 45		25 a 45	

CUADRO 17b. RMR Sitio de Observación 17.

Litología: Gneis de cuarzo-biotita-clorita, intercalado con cuarzo lechoso					
Observaciones: Zona de falla					
Dirección de Excavación del Túnel: N81°W					
PARAMETRO	Familia de Juntas	J2 (65/175)		J6 (72/040)	
		Valor	Puntaje	Valor	Puntaje
Resistencia a la compresión simple (Mpa)		25	4	25	4
RQD (%)		71	13	71	13
Espaciamiento entre diaclasas (m)		0.50	10	0.60	15
Longitud de las diaclasas (m)		5	2	5	2
Abertura de las diaclasas (mm)		0.5	4	0.5	4
Rugosidad de las juntas		ligera	3	ligera	3
Tipo y espesor de relleno de juntas (mm)		no	6	no	6
Meteorización de las paredes de las juntas		moderada	3	moderada	3
Agua en las juntas		seco	15	seco	15
RMR Primario		60		65	
Corrección por Orientación de las Juntas		muy des.	-12	muy des.	-12
Valoración RMR		48		53	
Calidad y Clase del Macizo		Media, Clase III		Media, Clase III	
Cohesión (KPa)		200 a 300		300 a 400	
Fricción (grados)		25 a 45		35 a 45	

CUADRO 18. RMR Sitio de Observación 18.

Litología: Gneis de cuarzo-clorita-biotita							
Observaciones:							
Dirección de Excavación del Túnel: N81°W							
PARAMETRO	Familia de Juntas	F3 (70/270)		J1 (75/020)		J4 (70/150)	
		Valor	Puntaje	Valor	Puntaje	Valor	Puntaje
Resistencia a la compresión simple (Mpa)		60	7	60	7	60	7
RQD (%)		91	20	91	20	91	20
Espaciamiento entre diaclasas (m)		0.50	10	0.40	10	0.35	10
Longitud de las diaclasas (m)		5	2	3	4	2	4
Abertura de las diaclasas (mm)		0.5	4	0.5	4	0.5	4
Rugosidad de las juntas		ligera	3	ligera	3	ligera	3
Tipo y espesor de relleno de juntas (mm)		no	6	no	6	no	6
Meteorización de las paredes de las juntas		moderada	3	moderada	3	moderada	3
Agua en las juntas		humedo	10	humedo	10	humedo	10
RMR Primario		65		67		67	
Corrección por Orientación de las Juntas		muy fav.	0	muy des.	-12	muy des.	-12
Valoración RMR		65		55		55	
Calidad y Clase del Macizo		Buena, Clase II		Media, Clase III		Media, Clase III	
Cohesión (KPa)		300 a 400		300 a 400		300 a 400	
Fricción (grados)		35 a 45		35 a 45		35 a 45	

CUADRO 19. RMR Sitio de Observación 19.

Litología: Gneis de cuarzo-clorita-biotita							
Observaciones:							
Dirección de Excavación del Túnel: N81°W							
PARAMETRO	Familia de Juntas	F3 (68/278)		J6 (58/035)		J1 (75/010)	
		Valor	Puntaje	Valor	Puntaje	Valor	Puntaje
Resistencia a la compresión simple (Mpa)		60	7	60	7	60	7
RQD (%)		90	20	90	20	90	20
Espaciamiento entre diaclasas (m)		0.30	10	0.30	10	1.00	15
Longitud de las diaclasas (m)		5	2	2	4	3	4
Abertura de las diaclasas (mm)		0.5	4	0.5	4	2.0	1
Rugosidad de las juntas		ligera	3	ligera	3	ligera	3
Tipo y espesor de relleno de juntas (mm)		no	6	no	6	no	6
Meteorización de las paredes de las juntas		moderada	3	moderada	3	moderada	3
Agua en las juntas		seco	15	seco	15	seco	15
RMR Primario		70		72		74	
Corrección por Orientación de las Juntas		muy fav.	0	muy des.	-12	muy des.	-12
Valoración RMR		70		60		62	
Calidad y Clase del Macizo		Buena, Clase II		Media, Clase III		Buena, Clase II	
Cohesión (KPa)		300 a 400		300 a 400		300 a 400	
Fricción (grados)		35 a 45		35 a 45		35 a 45	

CUADRO 20a. RMR Sitio de Observación 20.

Litología: Gneis intercalado con esquistos cloríticos					
Observaciones: Río Machay, Zona de falla, se observa paquetes silificados de 10-20 cm					
Dirección de Excavación del Túnel: N81°W					
PARAMETRO	Familia de Juntas	F1 (67/268)		J3 (85/188)	
		Valor	Puntaje	Valor	Puntaje
Resistencia a la compresión simple (Mpa)		25	4	25	4
RQD (%)		44	8	44	8
Espaciamiento entre diaclasas (m)		0.15	8	0.30	10
Longitud de las diaclasas (m)		5	2	3	4
Abertura de las diaclasas (mm)		2.0	1	0.5	4
Rugosidad de las juntas		lisa	1	lisa	1
Tipo y espesor de relleno de juntas (mm)		suave >5	0	no	6
Meteorización de las paredes de las juntas		alta	1	moderada	3
Agua en las juntas		seco	15	seco	15
RMR Primario		40		55	
Corrección por Orientación de las Juntas		muy fav.	0	muy des.	-12
Valoración RMR		40		43	
Calidad y Clase del Macizo		Mala, Clase IV		Media, Clase III	
Cohesión (KPa)		100 a 200		200 a 300	
Fricción (grados)		15 a 25		25 a 45	

CUADRO 20b. RMR Sitio de Observación 20.

Litología: Gneis intercalado con esquistos cloríticos					
Observaciones: Río Machay, Zona de falla, se observa paquetes silificados de 10-20 cm					
Dirección de Excavación del Túnel: N81°W					
PARAMETRO	Familia de Juntas	J5 (30/205)		J4 (82/112)	
		Valor	Puntaje	Valor	Puntaje
Resistencia a la compresión simple (Mpa)		25	4	25	4
RQD (%)		44	8	44	8
Espaciamiento entre diaclasas (m)		0.20	10	0.15	8
Longitud de las diaclasas (m)		2	4	3	4
Abertura de las diaclasas (mm)		1.5	1	0.5	4
Rugosidad de las juntas		lisa	1	lisa	1
Tipo y espesor de relleno de juntas (mm)		no	6	no	6
Meteorización de las paredes de las juntas		moderada	3	moderada	3
Agua en las juntas		seco	15	seco	15
RMR Primario		52		53	
Corrección por Orientación de las Juntas		regular	-5	regular	-5
Valoración RMR		47		48	
Calidad y Clase del Macizo		Media, Clase III		Media, Clase III	
Cohesión (KPa)		200 a 300		200 a 300	
Fricción (grados)		25 a 45		25 a 45	

- Zona 7

Evaluado a través de los resultados de tres sitios de observación, corresponde principalmente a un macizo de calidad Buena a Media asignado como Clase II y III. Los resultados se muestran en los cuadros 21 a 23

CUADRO 21. RMR Sitio de Observación 21.

Litología: Gneis de cuarzo y biotita							
Observaciones:							
Dirección de Excavación del Túnel: N62°W							
PARAMETRO	Familia de Juntas	F2 (86/115)		J2 (74/160)		J1 (62/330)	
		Valor	Puntaje	Valor	Puntaje	Valor	Puntaje
Resistencia a la compresión simple (Mpa)		149	12	149	12	149	12
RQD (%)		90	20	90	20	90	20
Espaciamiento entre diaclasas (m)		0.20	10	2.00	20	0.50	10
Longitud de las diaclasas (m)		15	1	5	2	4	2
Abertura de las diaclasas (mm)		0.5	4	0.5	4	0.5	4
Rugosidad de las juntas		ligera	3	ligera	3	ligera	3
Tipo y espesor de relleno de juntas (mm)		no	6	no	6	no	6
Meteorización de las paredes de las juntas		moderada	3	ligera	5	ligera	5
Agua en las juntas		seco	15	seco	15	seco	15
RMR Primario		74		87		77	
Corrección por Orientación de las Juntas		regular	-5	muy des.	-12	muy des.	-12
Valoración RMR		69		75		65	
Calidad y Clase del Macizo		Buena, Clase II		Buena, Clase II		Buena, Clase II	
Cohesión (KPa)		300 a 400		>400		300 a 400	
Fricción (grados)		35 a 45		>45		35 a 45	

CUADRO 22a. RMR Sitio de Observación 22.

Litología: Granito con ligera orientación de biotita					
Observaciones:					
Dirección de Excavación del Túnel: N62°W					
PARAMETRO	Familia de Juntas	F1 (68/290)		J1 (52/347)	
		Valor	Puntaje	Valor	Puntaje
Resistencia a la compresión simple (Mpa)		149	12	149	12
RQD (%)		100	20	100	20
Espaciamiento entre diaclasas (m)		0.50	10	2.00	20
Longitud de las diaclasas (m)		5	2	20	1
Abertura de las diaclasas (mm)		0.5	4	2.0	1
Rugosidad de las juntas		lisa	1	lisa	1
Tipo y espesor de relleno de juntas (mm)		no	6	no	6
Meteorización de las paredes de las juntas		ligera	5	ligera	5
Agua en las juntas		goteo	4	mojado	7
RMR Primario		64		73	
Corrección por Orientación de las Juntas		muy fav.	0	muy des.	-12
Valoración RMR		64		61	
Calidad y Clase del Macizo		Buena, Clase II		Buena, Clase II	
Cohesión (KPa)		300 a 400		300 a 400	
Fricción (grados)		35 a 45		35 a 45	

CUADRO 22b. RMR Sitio de Observación 22.

Litología: Granito con ligera orientación de biotita					
Observaciones:					
Dirección de Excavación del Túnel: N62°W					
PARAMETRO	Familia de Juntas	J5 (44/145)		J3 (80/193)	
		Valor	Puntaje	Valor	Puntaje
Resistencia a la compresión simple (Mpa)		149	12	149	12
RQD (%)		100	20	100	20
Espaciamiento entre diaclasas (m)		2.50	20	1.00	15
Longitud de las diaclasas (m)		5	2	5	2
Abertura de las diaclasas (mm)		0.5	4	0.5	4
Rugosidad de las juntas		lisa	1	lisa	1
Tipo y espesor de relleno de juntas (mm)		no	6	no	6
Meteorización de las paredes de las juntas		ligera	5	ligera	5
Agua en las juntas		mojado	7	mojado	7
RMR Primario		77		72	
Corrección por Orientación de las Juntas		desfavor.	-10	muy des.	-12
Valoración RMR		67		60	
Calidad y Clase del Macizo		Buena, Clase II		Media, Clase III	
Cohesión (KPa)		300 a 400		300 a 400	
Fricción (grados)		35 a 45		35 a 45	

CUADRO 23. RMR Sitio de Observación 23.

Litología: Granito							
Observaciones:							
Dirección de Excavación del Túnel: N62°W							
PARAMETRO	Familia de Juntas	F1 (68/255)		J3 (80/195)		J1 (55/340)	
		Valor	Puntaje	Valor	Puntaje	Valor	Puntaje
Resistencia a la compresión simple (Mpa)		149	12	149	12	149	12
RQD (%)		100	20	100	20	100	20
Espaciamiento entre diaclasas (m)		0.40	10	1.00	15	1.00	15
Longitud de las diaclasas (m)		5	2	5	2	5	2
Abertura de las diaclasas (mm)		0.5	4	2.0	1	0.5	4
Rugosidad de las juntas		ligera	3	ligera	3	ligera	3
Tipo y espesor de relleno de juntas (mm)		no	6	no	6	no	6
Meteorización de las paredes de las juntas		moderada	3	moderada	3	moderada	3
Agua en las juntas		goteo	4	mojado	7	mojado	7
RMR Primario		64		69		72	
Corrección por Orientación de las Juntas		muy fav.	0	muy des.	-12	muy des.	-12
Valoración RMR		64		57		60	
Calidad y Clase del Macizo		Buena, Clase II		Media, Clase III		Media, Clase III	
Cohesión (KPa)		300 a 400		300 a 400		300 a 400	
Fricción (grados)		35 a 45		35 a 45		35 a 45	

A continuación se presenta un resumen de los resultados de las clasificaciones mediante el sistema de RMR (Tabla 3.1)

Tabla 3.1 Resultados de la Clasificación RMR para el trazado del túnel

Sitio de Observación	Litología	RMR	Calidad y Clase de macizo	Obs.	Zona
1	Esquisto micáceos con grafito	52	Media, clase III		I
2	Esquisto cuarzo-micáceo	22	Mala, clase IV	Zona de falla	
3	Esquisto cuarzo-micáceo con grafito	52	Media, clase III		II
4	Esquisto cuarzo-micáceo grafitoso	63	Buena, clase II		
5	Esquisto grafitoso	49	Media, clase III		
6	Esquisto de cuarzo-sericita-clorita	62	Buena, clase II		III
7	Esquisto gnéisico de cuarzo-sericita-clorita	39	Mala, clase IV	Zona de falla	
8	Gneis esquistoso de cuarzo-plagioclasa	59	Media, clase III		
9	Gneis esquistoso de plagioclasa-cuarzo-sericita	43	Media, clase III		
10	Esquisto de cuarzo-plagioclasa y mica	57	Media, clase III		IV
11	Gneis de cuarzo-feldespató-biotita-clorita	44	Media, clase III	Zona de falla	
12	Gneis de plagioclasa-cuarzo-mica	54	Media, clase III		V
13	Esquisto de plagioclasa-cuarzo-micas	38	Mala, clase IV	Zona de falla	
14	Gneis de cuarzo-plagioclasa-micas-anfíbol	57	Media, clase III		

15	Granodiorita.	53	Media, clase III		
16	Gneis de cuarzo azul-plagioclasa-biotita-anfíbol	46	Media, clase III		VI
17	Gneis de cuarzo-biotita-clorita	40	Mala, clase IV	Zona de falla	
18	Gneis de cuarzo-clorita-biotita	55	Media, clase III		
19	Esquisto Gnéisico de cuarzo-clorita-biotita	60	Media, clase III		
20	Gneis intercalado con esquistos cloríticos	40	Mala, clase IV	Zona de falla	
21	Gneis de cuarzo y biotita	65	Buena, clase II		VII
22	Granito con ligera orientación de biotita	60	Buena, clase II		
23	Granito	57	Media, clase III		

3.2.2 DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE Q.

Para la clasificación del macizo rocoso a través del índice Q también se utilizaron los resultados obtenidos en los 23 sitios de observación del trazado del túnel, correspondientes a las 7 zonas identificadas por su homogeneidad geológica (Anexo 7).

En el cálculo del Índice Q no se toma en cuenta la orientación de las familias de diaclasas con respecto a la orientación del túnel, además la clasificación se la realiza solo una vez en cada sitio de observación considerando todas las familias de juntas, tomando la valoración de la familia de discontinuidad más desfavorable.

Los parámetros para la valoración del índice Q en este trabajo fueron obtenidos de la siguiente manera:

RQD.- Se obtuvo a partir de las observaciones en los afloramientos de los sitios de observación, utilizando los valores obtenidos para el índice RMR.

Jn.- Número de familias de discontinuidades, obtenidos a partir de las observaciones en los afloramientos de los sitios de observación.

Jr.- Índice de rugosidad identificado en las paredes de las discontinuidades, obtenidos a partir de las observaciones en los afloramientos de los sitios de observación.

Ja.- Índice de alteración de las discontinuidades, obtenidos a partir de las observaciones en los afloramientos de los sitios de observación

Jw.- Coeficiente de reducción debido a la presencia de agua en las juntas, obtenidos a partir de las observaciones en los afloramientos de los sitios de observación.

SRF.- Factor de reducción debido a los esfuerzos, este factor se lo obtuvo de la relación entre la resistencia de la roca a la compresión simple (σ_c) (Anexo 6), y el esfuerzo principal mayor (σ_1). Los datos para la valoración del SRF se encuentra en la tabla 5.6 del anexo 5.

Para este estudio se tomó la relación entre esfuerzo horizontal (σ_h) y el esfuerzo vertical (σ_v) igual a 1.5 ($k = 1.5$), tomando directamente estos esfuerzos como esfuerzo principal mayor ($\sigma_1 = \sigma_h$) y esfuerzos principales menor ($\sigma_3 = \sigma_v$).

$$k = \frac{\sigma_h}{\sigma_v},$$

$$\text{Si, } k = 1.5$$

$$\text{entonces, } \sigma_h = 1.5\sigma_v$$

Se consideró el valor de 1.5 para k , en base a ensayos de fracturamiento hidráulico, realizados para la zona andina ecuatoriana (INECEL, 1994).

Para el cálculo del esfuerzo vertical (σ_v), se utilizaron valores de densidad y cobertura de roca, el primero se tomó del promedio de los ensayos obtenidos para cada unidad litológica (Anexo 6), mientras que en el caso de la cobertura, este valor se obtuvo proyectando el sitio de observación al perfil topográfico del trazado del túnel (Mapa 3, anexo de Mapas).

Las tablas de valoración para cada parámetro del Índice Q se encuentra en el Anexo 5.

A continuación se presentan los resultados de la clasificación del macizo rocoso con el índice Q, para cada zona.

- **Zona 1**

Evaluado a través de los resultados de dos sitios de observación, corresponde principalmente a un macizo de calidad Media, y a un macizo de calidad Muy Mala en el tramo correspondiente a una zona de falla. Los resultados se muestran en los cuadros 24 y 25.

CUADRO 24. Índice Q. Sitio de Observación 1.

Litología: Esquistos micáceos con grafito, intercalados con esquistos graf.	
Observaciones:	
Dirección de Excavación del Túnel: N83°E	
PARAMETRO	VALORACION
RQD= 115-3.3 x Jv	86
Número de Familias de Juntas (Jn)	12
Índice de Rugosidad de las Juntas (Jr)	2
Factor de Alteración de las Juntas (Ja)	2
Factor de Reducción por la presencia de agua (Jw)	1
Resistencia a la compresión Simple (kg/cm ²)	551
Densidad de la roca (gr/cm ³)	2.81
Cobertura de la Roca (m)	160
Esfuerzo principal mayor σ_1 (σ_h) (kg/cm ²)	67.4
Esfuerzo principal menor σ_3 (σ_v) (kg/cm ²)	45.0
Relación σ_c/σ_1	8.2
Factor de Reducción por esfuerzos (SRF)	1.0
Índice Q	7.2
Calidad del Macizo Rocosos	Media

CUADRO 25. Índice Q. Sitio de Observación 2.

Litología: Esquistos cuarzo-micáceo	
Observaciones: Contacto litológico fallado, zonas cizalladas 30-50 cm.	
Dirección de Excavación del Túnel: N83°E	
PARAMETRO	VALORACION
RQD= 115-3.3 x Jv	69
Número de Familias de Juntas (Jn)	9
Índice de Rugosidad de las Juntas (Jr)	0.5
Factor de Alteración de las Juntas (Ja)	3
Factor de Reducción por la presencia de agua (Jw)	1
Resistencia a la compresión Simple (kg/cm ²)	255
Densidad de la roca (gr/cm ³)	2.81
Cobertura de la Roca (m)	191
Esfuerzo principal mayor σ_1 (σ_h) (kg/cm ²)	80.5
Esfuerzo principal menor σ_3 (σ_v) (kg/cm ²)	53.7
Relación σ_c/σ_1	3.2
Factor de Reducción por esfuerzos (SRF)	5.0
Índice Q	0.26
Calidad del Macizo Rocoso	Muy Mala

- **Zona 2**

Evaluado a través de los resultados de tres sitios de observación, corresponde principalmente a un macizo de calidad Buena a Media. Los resultados se muestran en los cuadros 26 a 28.

CUADRO 26. Índice Q. Sitio de Observación 3.

Litología: Esquistos cuarzo-micáceos con grafito	
Observaciones:	
Dirección de Excavación del Túnel: S88°W	
PARAMETRO	VALORACION
RQD= 115-3.3 x Jv	84
Número de Familias de Juntas (Jn)	9
Índice de Rugosidad de las Juntas (Jr)	3
Factor de Alteración de las Juntas (Ja)	2
Factor de Reducción por la presencia de agua (Jw)	1
Resistencia a la compresión Simple (kg/cm ²)	1112
Densidad de la roca (gr/cm ³)	2.95
Cobertura de la Roca (m)	196
Esfuerzo principal mayor σ_1 (σ_h) (kg/cm ²)	86.73
Esfuerzo principal menor σ_3 (σ_v) (kg/cm ²)	57.82
Relación σ_c/σ_1	12.8
Factor de Reducción por esfuerzos (SRF)	1.0
Índice Q	14.0
Calidad del Macizo Rocoso	Buena

CUADRO 27. Índice Q. Sitio de Observación 4.

Litología: Esquisto cuarzo-micáceo grafitoso	
Observaciones:	
Dirección de Excavación del Túnel: S88°W	
PARAMETRO	VALORACION
RQD= 115-3.3 x Jv	81
Número de Familias de Juntas (Jn)	9
Índice de Rugosidad de las Juntas (Jr)	2
Factor de Alteración de las Juntas (Ja)	2
Factor de Reducción por la presencia de agua (Jw)	1
Resistencia a la compresión Simple (kg/cm ²)	1112
Densidad de la roca (gr/cm ³)	2.95
Cobertura de la Roca (m)	191
Esfuerzo principal mayor σ_1 (σ_h) (kg/cm ²)	84.52
Esfuerzo principal menor σ_3 (σ_v) (kg/cm ²)	56.35
Relación σ_c/σ_1	13.2
Factor de Reducción por esfuerzos (SRF)	1.0
Índice Q	9.00
Calidad del Macizo Rocoso	Media

CUADRO 28. Índice Q. Sitio de Observación 5.

Litología: Esquisto grafitoso	
Observaciones:	
Dirección de Excavación del Túnel: S88°W	
PARAMETRO	VALORACION
RQD= 115-3.3 x Jv	74
Número de Familias de Juntas (Jn)	12
Índice de Rugosidad de las Juntas (Jr)	2
Factor de Alteración de las Juntas (Ja)	2
Factor de Reducción por la presencia de agua (Jw)	1
Resistencia a la compresión Simple (kg/cm ²)	1112
Densidad de la roca (gr/cm ³)	2.95
Cobertura de la Roca (m)	195
Esfuerzo principal mayor σ_1 (σ_h) (kg/cm ²)	86.29
Esfuerzo principal menor σ_3 (σ_v) (kg/cm ²)	57.53
Relación σ_c/σ_1	12.9
Factor de Reducción por esfuerzos (SRF)	1.0
Índice Q	6.17
Calidad del Macizo Rocoso	Media

- **Zona 3**

Evaluado a través de los resultados de cuatro sitios de observación, corresponde principalmente a un macizo de calidad Media a Buena, y a un macizo de calidad Muy Mala en el tramo correspondiente a una zona de falla. Los resultados se muestran en los cuadros 29 a 32.

CUADRO 29. Índice Q. Sitio de Observación 6.

Litología: Esquisto de cuarzo-sericita-clorita	
Observaciones:	
Dirección de Excavación del Túnel: S88°W	
PARAMETRO	VALORACION
RQD= 115-3.3 x Jv	95
Número de Familias de Juntas (Jn)	12
Índice de Rugosidad de las Juntas (Jr)	3
Factor de Alteración de las Juntas (Ja)	1
Factor de Reducción por la presencia de agua (Jw)	1
Resistencia a la compresión Simple (kg/cm ²)	1337
Densidad de la roca (gr/cm ³) *	2.77
Cobertura de la Roca (m)	298
Esfuerzo principal mayor σ_1 (σ_h) (kg/cm ²)	123.82
Esfuerzo principal menor σ_3 (σ_v) (kg/cm ²)	82.55
Relación σ_c/σ_1	10.8
Factor de Reducción por esfuerzos (SRF)	1.0
Índice Q	23.8
Calidad del Macizo Rocoso	Buena

CUADRO 30. Índice Q. Sitio de Observación 7

Litología: Esquisto-gneisico de cuarzo-sericita-clorita	
Observaciones: Zona fallada, 20 m en total, zonas cizalladas de 50-60 cm	
Dirección de Excavación del Túnel: S88°W	
PARAMETRO	VALORACION
RQD= 115-3.3 x Jv	75
Número de Familias de Juntas (Jn)	9
Índice de Rugosidad de las Juntas (Jr)	1
Factor de Alteración de las Juntas (Ja)	2
Factor de Reducción por la presencia de agua (Jw)	1
Resistencia a la compresión Simple (kg/cm ²)	255
Densidad de la roca (gr/cm ³) *	2.77
Cobertura de la Roca (m)	368
Esfuerzo principal mayor σ_1 (σ_h) (kg/cm ²)	152.9
Esfuerzo principal menor σ_3 (σ_v) (kg/cm ²)	101.9
Relación σ_c/σ_1	1.7
Factor de Reducción por esfuerzos (SRF)	5.0
Índice Q	0.83
Calidad del Macizo Rocoso	Muy Mala

CUADRO 31. Índice Q. Sitio de Observación 8

Litología: Gneis esquistoso cuarzo-plagioclasa	
Observaciones:	
Dirección de Excavación del Túnel: S88°W	
PARAMETRO	VALORACION
RQD= 115-3.3 x Jv	92
Número de Familias de Juntas (Jn)	12
Índice de Rugosidad de las Juntas (Jr)	3
Factor de Alteración de las Juntas (Ja)	1
Factor de Reducción por la presencia de agua (Jw)	1
Resistencia a la compresión Simple (kg/cm ²)	1337
Densidad de la roca (gr/cm ³) *	2.77
Cobertura de la Roca (m)	545
Esfuerzo principal mayor σ_1 (σ_h) (kg/cm ²)	226.45
Esfuerzo principal menor σ_3 (σ_v) (kg/cm ²)	150.97
Relación σ_c/σ_1	5.9
Factor de Reducción por esfuerzos (SRF)	2.0
Índice Q	11.50
Calidad del Macizo Rocoso	Buena

CUADRO 32. Índice Q. Sitio de Observación 9.

Litología: Gneis esquistoso de plagioclasa-cuarzo-sericita	
Observaciones: Límite con la unidad 4	
Dirección de Excavación del Túnel: S88°W	
PARAMETRO	VALORACION
RQD= 115-3.3 x Jv	81
Número de Familias de Juntas (Jn)	12
Índice de Rugosidad de las Juntas (Jr)	2
Factor de Alteración de las Juntas (Ja)	2
Factor de Reducción por la presencia de agua (Jw)	0.66
Resistencia a la compresión Simple (kg/cm ²)	1337
Densidad de la roca (gr/cm ³) *	2.77
Cobertura de la Roca (m)	493
Esfuerzo principal mayor σ_1 (σ_h) (kg/cm ²)	204.8
Esfuerzo principal menor σ_3 (σ_v) (kg/cm ²)	136.6
Relación σ_c/σ_1	6.5
Factor de Reducción por esfuerzos (SRF)	1.0
Índice Q	4.46
Calidad del Macizo Rocoso	Media

- **Zona 4**

Evaluado a través de los resultados de dos sitios de observación, corresponde principalmente a un macizo de calidad Buena, y a un macizo de calidad Extremadamente Mala en el tramo correspondiente a una zona de falla. Los resultados se muestran en los cuadros 33 y 34.

CUADRO 33. Índice Q. Sitio de Observación 10

Litología: Esquistos cuarzo-plagioclasa y mica	
Observaciones:	
Dirección de Excavación del Túnel: S88°W	
PARAMETRO	VALORACION
RQD= 115-3.3 x Jv	100
Número de Familias de Juntas (Jn)	9
Índice de Rugosidad de las Juntas (Jr)	1
Factor de Alteración de las Juntas (Ja)	1
Factor de Reducción por la presencia de agua (Jw)	1
Resistencia a la compresión Simple (kg/cm ²)	1061
Densidad de la roca (gr/cm ³)	2.75
Cobertura de la Roca (m)	336
Esfuerzo principal mayor σ_1 (σ_h) (kg/cm ²)	138.6
Esfuerzo principal menor σ_3 (σ_v) (kg/cm ²)	92.4
Relación σ_c/σ_1	7.7
Factor de Reducción por esfuerzos (SRF)	1.0
Índice Q	11.11
Calidad del Macizo Rocoso	Buena

CUADRO 34. Índice Q. Sitio de Observación 11.

Litología: Gneis de cuarzo-feldespato-biotita-clorita	
Observaciones: Contacto fallado con la unidad 5	
Dirección de Excavación del Túnel: S88°W	
PARAMETRO	VALORACION
RQD= 115-3.3 x Jv	86
Número de Familias de Juntas (Jn)	9
Índice de Rugosidad de las Juntas (Jr)	1
Factor de Alteración de las Juntas (Ja)	2
Factor de Reducción por la presencia de agua (Jw)	1
Resistencia a la compresión Simple (kg/cm ²)	255
Densidad de la roca (gr/cm ³)	2.75
Cobertura de la Roca (m)	732
Esfuerzo principal mayor σ_1 (σ_h) (kg/cm ²)	301.95
Esfuerzo principal menor σ_3 (σ_v) (kg/cm ²)	201.3
Relación σ_c/σ_1	0.8
Factor de Reducción por esfuerzos (SRF)	50.0
Índice Q	0.10
Calidad del Macizo Rocoso	Extremadamente mala

- **Zona 5**

Evaluado a través de los resultados de cuatro sitios de observación, corresponde principalmente a un macizo de calidad Buena a Muy Mala, dependiendo principalmente de la cobertura del túnel, y a un macizo de calidad Extremadamente Mala en el tramo correspondiente a una zona de falla. Los resultados se muestran en los cuadros 35 a 38.

CUADRO 35. Índice Q. Sitio de Observación 12.

Litología: Gneis de plagioclas-cuarzo-mica	
Observaciones:	
Dirección de Excavación del Túnel: N83°E	
PARAMETRO	VALORACION
RQD= 115-3.3 x Jv	91
Número de Familias de Juntas (Jn)	9
Índice de Rugosidad de las Juntas (Jr)	1.5
Factor de Alteración de las Juntas (Ja)	2
Factor de Reducción por la presencia de agua (Jw)	1
Resistencia a la compresión Simple (kg/cm ²)	602
Densidad de la roca (gr/cm ³)	2.86
Cobertura de la Roca (m)	732
Esfuerzo principal mayor σ_1 (σ_h) (kg/cm ²)	314.028
Esfuerzo principal menor σ_3 (σ_v) (kg/cm ²)	209.352
Relación σ_c/σ_1	1.9
Factor de Reducción por esfuerzos (SRF)	5.0
Índice Q	1.52
Calidad del Macizo Rocoso	Mala

CUADRO 36. Índice Q. Sitio de Observación 13.

Litología: Esquisto de plagioclasa-cuarzo-micas	
Observaciones: Zona de falla, intercalacion de esquistos micaceos.	
Dirección de Excavación del Túnel: S88°W	
PARAMETRO	VALORACION
RQD= 115-3.3 x Jv	66
Número de Familias de Juntas (Jn)	9
Índice de Rugosidad de las Juntas (Jr)	1
Factor de Alteración de las Juntas (Ja)	4
Factor de Reducción por la presencia de agua (Jw)	1
Resistencia a la compresión Simple (kg/cm ²)	255
Densidad de la roca (gr/cm ³)	2.86
Cobertura de la Roca (m)	732
Esfuerzo principal mayor σ_1 (σ_h) (kg/cm ²)	314.0
Esfuerzo principal menor σ_3 (σ_v) (kg/cm ²)	209.4
Relación σ_c/σ_1	0.8
Factor de Reducción por esfuerzos (SRF)	50
Índice Q	0.04
Calidad del Macizo Rocoso	Extremadamente mala

CUADRO 37. Índice Q. Sitio de Observación 14

Litología: Gneis de cuarzo-plagioclasa-micas-anfibol	
Observaciones:	
Dirección de Excavación del Túnel: S88°W	
PARAMETRO	VALORACION
RQD= 115-3.3 x Jv	84
Número de Familias de Juntas (Jn)	12
Índice de Rugosidad de las Juntas (Jr)	1
Factor de Alteración de las Juntas (Ja)	2
Factor de Reducción por la presencia de agua (Jw)	1
Resistencia a la compresión Simple (kg/cm ²)	602
Densidad de la roca (gr/cm ³)	2.86
Cobertura de la Roca (m)	825
Esfuerzo principal mayor σ_1 (σ_h) (kg/cm ²)	353.925
Esfuerzo principal menor σ_3 (σ_v) (kg/cm ²)	235.95
Relación σ_c/σ_1	1.7
Factor de Reducción por esfuerzos (SRF)	5.0
Índice Q	0.70
Calidad del Macizo Rocoso	Muy Mala

CUADRO 38. Índice Q. Sitio de Observación 15

Litología: Gneis-granodiorita.	
Observaciones:	
Dirección de Excavación del Túnel: S88°W	
PARAMETRO	VALORACION
RQD= 115-3.3 x Jv	83
Número de Familias de Juntas (Jn)	12
Índice de Rugosidad de las Juntas (Jr)	3
Factor de Alteración de las Juntas (Ja)	1.5
Factor de Reducción por la presencia de agua (Jw)	1
Resistencia a la compresión Simple (kg/cm ²)	602
Densidad de la roca (gr/cm ³)	2.86
Cobertura de la Roca (m)	91
Esfuerzo principal mayor σ_1 (σ_h) (kg/cm ²)	39.039
Esfuerzo principal menor σ_3 (σ_v) (kg/cm ²)	26.026
Relación σ_c/σ_1	15.4
Factor de Reducción por esfuerzos (SRF)	1.0
Índice Q	13.83
Calidad del Macizo Rocoso	Buena

- **Zona 6**

Evaluado a través de los resultados de cinco sitios de observación, corresponde principalmente a un macizo de calidad Buena a Mala, y a un macizo de calidad Muy Mala en el tramo correspondiente a una zona de falla. Los resultados se muestran en los cuadros 39 a 43.

CUADRO 39. Índice Q. Sitio de Observación 16.

Litología: Gneis de cuarzo-cuarzo azul-plagioclasa-biotita-anfíbol	
Observaciones: Afloramiento a 30 m de una falla, contacto fallado con unidad 5	
Dirección de Excavación del Túnel: N81°W	
PARAMETRO	VALORACION
RQD= 115-3.3 x Jv	64
Número de Familias de Juntas (Jn)	12
Índice de Rugosidad de las Juntas (Jr)	3
Factor de Alteración de las Juntas (Ja)	2
Factor de Reducción por la presencia de agua (Jw)	1
Resistencia a la compresión Simple (kg/cm ²)	612
Densidad de la roca (gr/cm ³)	2.77
Cobertura de la Roca (m)	389
Esfuerzo principal mayor σ_1 (σ_h) (kg/cm ²)	161.6
Esfuerzo principal menor σ_3 (σ_v) (kg/cm ²)	107.8
Relación σ_c/σ_1	3.8
Factor de Reducción por esfuerzos (SRF)	5.0
Índice Q	1.60
Calidad del Macizo Rocoso	Mala

CUADRO 40. Índice Q. Sitio de Observación 17.

Litología: Gneis de cuarzo-biotita-clorita, intercalado con cuarzo lechoso	
Observaciones: Zona de falla	
Dirección de Excavación del Túnel: N81°W	
PARAMETRO	VALORACION
RQD= 115-3.3 x Jv	71
Número de Familias de Juntas (Jn)	12
Índice de Rugosidad de las Juntas (Jr)	1
Factor de Alteración de las Juntas (Ja)	3
Factor de Reducción por la presencia de agua (Jw)	1
Resistencia a la compresión Simple (kg/cm ²)	255
Densidad de la roca (gr/cm ³)	2.77
Cobertura de la Roca (m)	398
Esfuerzo principal mayor σ_1 (σ_h) (kg/cm ²)	165.369
Esfuerzo principal menor σ_3 (σ_v) (kg/cm ²)	110.246
Relación σ_c/σ_1	1.5
Factor de Reducción por esfuerzos (SRF)	5.0
Índice Q	0.39
Calidad del Macizo Rocoso	Muy Mala

CUADRO 41. Índice Q. Sitio de Observación 18

Litología: Gneis de cuarzo-clorita-biotita	
Observaciones:	
Dirección de Excavación del Túnel: N81°W	
PARAMETRO	VALORACION
RQD= 115-3.3 x Jv	91
Número de Familias de Juntas (Jn)	9
Índice de Rugosidad de las Juntas (Jr)	2.5
Factor de Alteración de las Juntas (Ja)	1.5
Factor de Reducción por la presencia de agua (Jw)	1
Resistencia a la compresión Simple (kg/cm ²)	612
Densidad de la roca (gr/cm ³)	2.77
Cobertura de la Roca (m)	370
Esfuerzo principal mayor σ_1 (σ_h) (kg/cm ²)	153.7
Esfuerzo principal menor σ_3 (σ_v) (kg/cm ²)	102.5
Relación σ_c/σ_1	4.0
Factor de Reducción por esfuerzos (SRF)	5.0
Índice Q	3.37
Calidad del Macizo Rocoso	Mala

CUADRO 42. Índice Q. Sitio de Observación 19.

Litología: Esquisto Gneisico de cuarzo-clorita-biotita	
Observaciones:	
Dirección de Excavación del Túnel: N81°W	
PARAMETRO	VALORACION
RQD= 115-3.3 x Jv	90
Número de Familias de Juntas (Jn)	9
Índice de Rugosidad de las Juntas (Jr)	2.5
Factor de Alteración de las Juntas (Ja)	2
Factor de Reducción por la presencia de agua (Jw)	1
Resistencia a la compresión Simple (kg/cm ²)	612
Densidad de la roca (gr/cm ³)	2.77
Cobertura de la Roca (m)	113
Esfuerzo principal mayor σ_1 (σ_h) (kg/cm ²)	46.95
Esfuerzo principal menor σ_3 (σ_v) (kg/cm ²)	31.30
Relación σ_c/σ_1	13.0
Factor de Reducción por esfuerzos (SRF)	1.0
Índice Q	12.50
Calidad del Macizo Rocoso	Buena

CUADRO 43. Índice Q. Sitio de Observación 20.

Litología: Gneis intercalado con esquistos cloríticos	
Observaciones: Rio Machay, Zona de falla, se observa paquetes silificados de 10-20 cm	
Dirección de Excavación del Túnel: N81°W	
PARAMETRO	VALORACION
RQD= 115-3.3 x Jv	44
Número de Familias de Juntas (Jn)	12
Índice de Rugosidad de las Juntas (Jr)	1.5
Factor de Alteración de las Juntas (Ja)	4
Factor de Reducción por la presencia de agua (Jw)	1
Resistencia a la compresión Simple (kg/cm ²)	255
Densidad de la roca (gr/cm ³)	2.77
Cobertura de la Roca (m)	101
Esfuerzo principal mayor σ_1 (σh) (kg/cm ²)	42.0
Esfuerzo principal menor σ_3 (σv) (kg/cm ²)	28.0
Relación σ_c/σ_1	6.0
Factor de Reducción por esfuerzos (SRF)	2.0
Índice Q	0.69
Calidad del Macizo Rocoso	Muy Mala

- **Zona 7**

Evaluado a través de los resultados de tres sitios de observación, corresponde principalmente a un macizo de calidad Buena. Los resultados se muestran en los cuadros 44 a 46.

CUADRO 44. Índice Q. Sitio de Observación 21

Litología: Gneis de cuarzo y biotita	
Observaciones:	
Dirección de Excavación del Túnel: N62°W	
PARAMETRO	VALORACION
RQD= 115-3.3 x Jv	90.0
Número de Familias de Juntas (Jn)	12
Índice de Rugosidad de las Juntas (Jr)	2.5
Factor de Alteración de las Juntas (Ja)	1.5
Factor de Reducción por la presencia de agua (Jw)	1
Resistencia a la compresión Simple (kg/cm ²)	1520
Densidad de la roca (gr/cm ³)	2.63
Cobertura de la Roca (m)	317
Esfuerzo principal mayor σ_1 (σh) (kg/cm ²)	125.1
Esfuerzo principal menor σ_3 (σv) (kg/cm ²)	83.4
Relación σ_c/σ_1	12.2
Factor de Reducción por esfuerzos (SRF)	1.0
Índice Q	12.50
Calidad del Macizo Rocoso	Buena

CUADRO 45. Índice Q. Sitio de Observación 22

Litología: Granito con ligera orientación de biotita	
Observaciones:	
Dirección de Excavación del Túnel: N62°W	
PARAMETRO	VALORACION
RQD= 115-3.3 x Jv	100.0
Número de Familias de Juntas (Jn)	12
Índice de Rugosidad de las Juntas (Jr)	2
Factor de Alteración de las Juntas (Ja)	1
Factor de Reducción por la presencia de agua (Jw)	1
Resistencia a la compresión Simple (kg/cm ²)	1520
Densidad de la roca (gr/cm ³)	2.63
Cobertura de la Roca (m)	395
Esfuerzo principal mayor σ_1 (σ_h) (kg/cm ²)	155.83
Esfuerzo principal menor σ_3 (σ_v) (kg/cm ²)	103.89
Relación σ_c/σ_1	9.8
Factor de Reducción por esfuerzos (SRF)	1.0
Índice Q	16.67
Calidad del Macizo Rocososo	Buena

CUADRO 46. Índice Q. Sitio de Observación 23.

Litología: Granito	
Observaciones:	
Dirección de Excavación del Túnel: N62°W	
PARAMETRO	VALORACION
RQD= 115-3.3 x Jv	100
Número de Familias de Juntas (Jn)	9
Índice de Rugosidad de las Juntas (Jr)	2.5
Factor de Alteración de las Juntas (Ja)	1.5
Factor de Reducción por la presencia de agua (Jw)	1
Resistencia a la compresión Simple (kg/cm ²)	1520
Densidad de la roca (gr/cm ³)	2.63
Cobertura de la Roca (m)	360
Esfuerzo principal mayor σ_1 (σ_h) (kg/cm ²)	142.02
Esfuerzo principal menor σ_3 (σ_v) (kg/cm ²)	94.68
Relación σ_c/σ_1	10.7
Factor de Reducción por esfuerzos (SRF)	1.0
Índice Q	18.52
Calidad del Macizo Rocososo	Buena

A continuación se presenta una síntesis de los resultados del cálculo del Índice Q a lo largo del trazado del túnel.

Tabla 3.2 Resultados del cálculo del Índice Q en afloramientos superficiales para el trazado del túnel

Sito de Observación	Litología	Índice Q	Calidad del Macizo	Obs.	Zona
1	Esquisto micáceo con grafito	7.2	Media		I
2	Esquisto cuarzo-micáceo	0.26	Muy Mala	Zona de Falla	
3	Esquisto cuarzo-micáceos con grafito	14.0	Buena		II
4	Esquisto cuarzo-micáceo grafitoso	9.0	Media		
5	Esquisto grafitoso	6.17	Media		
6	Esquisto de cuarzo-sericita-clorita	23.8	Buena		III
7	Esquisto gneisico de cuarzo-sericita-clorita	0.83	Muy Mala	Zona de Falla	
8	Gneis esquistoso de cuarzo-plagioclasa	11.50	Buena		
9	Gneis esquistoso de plagioclasa-cuarzo-sericita	4.46	Media		
10	Esquisto cuarzo-plagioclasa y mica	11.11	Buena		IV
11	Gneis de cuarzo-feldespato-biotita-clorita	0.96	Muy Mala	Zona de Falla	
12	Gneis de plagioclas-cuarzo-mica	1.52	Mala		V
13	Esquisto de plagioclasa-cuarzo-micas	0.04	Extr. Mala	Zona de Falla	
14	Gneis de cuarzo-plagioclasa-micas-anfíbol	0.7	Muy Mala		
15	Granodiorita.	13.83	Buena		
16	Gneis de cuarzo azul-plagioclasa-biotita-anfíbol	1.60	Mala		VI

17	Gneis de cuarzo-biotita-clorita	0.39	Muy Mala	Zona de Falla	VII
18	Gneis de cuarzo-clorita-biotita	3.37	Mala		
19	Esquisto Gneisico de cuarzo-clorita-biotita	12.5	Buena		
20	Gneis intercalado con esquistos cloríticos	0.69	Muy Mala	Zona de Falla	
21	Gneis de cuarzo y biotita	12.5	Buena		
22	Granito con ligera orientación de biotita	16.67	Buena		
23	Granito	18.52	Buena		

3.3 ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA DEL TÚNEL DE CONDUCCIÓN (Mapa 3, Anexo 12)

Tomando en cuenta los resultados de los ensayos geomecánicos (especialmente Resistencia a la Compresión Simple, mostrados en el Anexo 6), el modelo geológico (Capítulo II) y las clasificaciones geomecánicas realizadas en los sitios de observación que se resumen en las tablas 3.1 y 3.2 de este capítulo, se definieron 6 zonas geomecánicas a lo largo del trazado del túnel. Los resultados se muestran en el Perfil Geotécnico, (Mapa 3, Anexo 12).

Para la determinación de las propiedades físicas y mecánicas para cada zona se obtuvieron los valores promedios de los ensayos de laboratorio y de campo realizados dentro de cada zona, tomados del Informe de Geología y Geotecnia de INECEL (1889) y Ensayos de Laboratorio San Francisco, GeoConsul (2005) (Anexo 6).

A continuación se describe cada zona geotécnica:

3.3.1 ZONA 1: TRAMO DE ESQUISTOS CUARZO MICÁCEOS GRAFITOSOS

Esta zona se encuentra al oeste del área de estudio, corresponde al tramo entre las abscisas 0+000 – 0+737 del túnel de Conducción, e incluye las rocas metamórficas de la unidad litológica: Esquisto cuarzo micáceos grafitosos.

En este tramo la recuperación de los testigos de perforación fue de 100%, la roca es sana en más del 80% con tramos decimétricos de roca altamente alterada y tramos métricos de roca medianamente a ligeramente alterada. Los valores de RQD en los testigos de perforación son predominantemente excelente (90-100%), pero se tienen designaciones bueno (75-89%) y regular (50-74%), las superficies de las discontinuidades son principalmente planas con pequeño porcentaje de irregulares a curvas (INECEL, 1989).

Las propiedades físicas y mecánicas de esta zona son las siguientes.

Tabla 3.3 Propiedades físicas y mecánicas del macizo rocoso de la Zona 1

Propiedad	Valor
Peso Unitario (gr/cm^3)	2.81
Permeabilidad (m/s)	1.61×10^{-6}
Resistencia a la Compresión Simple (MPa)	54
Corte Directo: (Angulo de Fricción)	37
Módulo de Deformación E (Kg/cm^2)	669162
Coefficiente de Poisson (μ)	0.158
Índice de Perforabilidad (DRI)	51

Este tramo presenta un índice RMR de 52 correspondiente a un macizo de calidad Media y Clase III, y un índice Q de 7.2 de calidad del macizo Media. La cobertura de roca oscila entre 104 a 212 m.

3.3.2 ZONA 2: TRAMO DE ESQUISTOS NEGROS Y ESQUISTOS GRAFITOSOS

Esta zona se encuentra al este de la zona I, corresponde al tramo entre las abscisas 0+737 – 1+370 del túnel de Conducción, e incluye las rocas metamórficas de la unidad litológica: Esquistos negros y esquistos grafitosos.

En este tramo la recuperación de los testigos de perforación es excelente (90-100%), predomina la roca sana en la cota del túnel 1480 m. Los valores de RQD en los testigos de perforación son predominantemente bueno (75-89%) y regular (50-74%), las superficies de las discontinuidades son planas e irregulares, con pequeños porcentajes de onduladas y escalonadas, además la rugosidad en su mayoría corresponden a rugosas, seguidas por lisas (INECEL, 1989).

Las propiedades físicas y mecánicas de esta zona son las siguientes:

Tabla 3.4 Propiedades físicas y mecánicas del macizo rocoso de la Zona 2

Propiedad	Valor
Peso Unitario (gr/cm^3)	2.95
Permeabilidad (m/s)	3.25×10^{-6}
Resistencia a la Compresión Simple (MPa)	109
Corte Directo: (Angulo de Fricción)	52
Módulo de Deformación E (Kg/cm^2)	1363705
Coefficiente de Poisson (u)	0.182
Índice de Perforabilidad (DRI)	49

Este tramo presenta un índice RMR entre 49 a 63, correspondiente a un macizo de calidad Buena a Media y Clase II y III, y un índice Q variante entre 6.17 a 14 que corresponde a una calidad del macizo Buena a Media. Dentro de esta zona la cobertura de roca en el túnel se encuentra entre 90 a 202 m.

3.3.3 ZONA 3: TRAMO DE ESQUISTOS Y GNEIS

Esta zona se encuentra en la parte central del área de estudio, corresponde al tramo entre las abscisas 1+370 – 3+820 del túnel de Conducción, incluye las rocas metamórficas de las unidades litológica 3 y 4: esquistos y gneis cloríticos – sericíticos, y esquistos y gneis de plagioclasa, cuarzo y moscovita.

En este tramo se observó una recuperación de testigos de perforación, predominado la roca sana a ligeramente alterada, con tramos métricos aislados de roca medianamente alterada. La designación de RQD en los testigos de perforación es predominantemente regular (50-74%) a excelente (90-100%), las superficies de las discontinuidades, son principalmente planas e irregulares, además en cuanto a la rugosidad predominan las lisas y rugosas, sobresalen las fracturas limpias seguidas de las fracturas con óxido, arcilla, clorita y sericita (INECEL, 1989).

Las propiedades físicas y mecánicas de esta zona son las siguientes:

Tabla 3.5 Propiedades físicas y mecánicas del macizo rocoso de la Zona 3

Propiedad	Valor
Peso Unitario (gr/cm^3)	2.75
Permeabilidad (m/s)	5.9×10^{-7}
Resistencia a la Compresión Simple (MPa)	104
Módulo de Deformación E (Kg/cm^2)	561003
Coefficiente de Poisson (ν)	0.035
Índice de Perforabilidad (DRI)	35

Este tramo presenta un índice RMR de 43 a 62 correspondiente a un macizo de calidad Media a Buena y Clase III y II. Mientras que el índice Q varía de 4.46 a 23.8 que corresponde a una calidad del macizo Buena a Media. Dentro de esta zona la cobertura de roca en el túnel se encuentra entre 202 a 710 m.

3.3.4 ZONA 4: TRAMO DE GNEIS Y ESQUISTOS

Esta zona incluye las unidades litológicas cinco compuesto por gneis y esquistos de cuarzo – feldespato y biotita y la unidad seis de gneis y esquistos cloríticos. Corresponde al tramo entre las abscisas 3+820 - 8+884 del túnel de Conducción.

En este tramo la recuperación de los testigos de perforación es excelente, a excepción de tramos decimétricos a métricos, para la cota del túnel 1460 m, predomina la roca ligeramente alterada a sana. La designación de RQD en los testigos de perforación son predominantemente regular (50-74%) y buena (75-90%), con tramos métricos a decimétricos de calidad muy mala a mala. Las superficies de las discontinuidades son principalmente planas e irregulares, en cuanto a rugosidad se presentan juntas rugosas a lisas, en pequeños porcentajes de juntas estriadas (INECEL, 1989).

Las propiedades físicas y mecánicas de esta zona se presentan a continuación:

Tabla 3.6 Propiedades físicas y mecánicas del macizo rocoso de la Zona 4

Propiedad	Valor
Peso Unitario (gr/cm^3)	2.82
Permeabilidad (m/s)	8.63×10^{-7}
Resistencia a la Compresión Simple (MPa)	59
Corte Directo: (Angulo de Fricción)	66
Módulo de Deformación E (Kg/cm^2)	763702
Coefficiente de Poisson (u)	0.127
Índice de Perforabilidad (DRI)	47

Este tramo presenta un índice RMR de 46 a 60 correspondiente a un macizo de calidad Media a Buena y Clase III y II. Mientras que el índice Q varía de 0.7 a 13.83 que corresponde a una calidad del macizo Muy mala a Buena. Dentro de esta zona la cobertura de roca en el túnel se encuentra entre 878 a 62 m.

3.3.5 ZONA 5: TRAMO DE GRANITO ORIENTADO.

Esta zona se encuentra la parte oriental del área de estudio y corresponde al tramo entre las abscisas 8+884 - 11+100 del túnel de Conducción, e incluye las rocas intrusivas de la unidad litológica: granito orientado.

En este tramo la recuperación de testigos de perforación es excelente, la roca es sana a ligeramente alterada. Las designaciones de RQD en los testigos de perforación es predominantemente excelente (90-100%) a regular (50-74%). Las superficies de las discontinuidades son planas e irregulares, en cuanto a rugosidad se observaron ligeramente lisas, rugosas, lisas, muy rugosas y estriadas, con rellenos de óxidos (INECEL, 1989).

Las propiedades físicas y mecánicas de esta zona se resumen a continuación:

Tabla 3.7 Propiedades físicas y mecánicas del macizo rocoso de la Zona 5

Propiedad	Valor
Peso Unitario (gr/cm^3)	2.63
Permeabilidad (m/s)	5.00×10^{-7}
Resistencia a la Compresión Simple (MPa)	149
Corte Directo: (Angulo de Fricción)	42
Módulo de Deformación E (Kg/cm^2)	509879
Coefficiente de Poisson (u)	0.132
Índice de Perforabilidad (DRI)	45

Este tramo presenta un índice RMR de 57 a 65 correspondiente a un macizo de calidad Media a Buena y Clase III y II. Mientras que el índice Q varía de 12.5 a 18.52 que corresponde a una calidad del macizo Buena. En esta zona, la cobertura de roca sobre el túnel se encuentra entre 195 a 390 m.

3.3.6 ZONAS 6: TRAMO DE MACIZO FALLADO.

Debido a las similitudes geológicas como densidad de fracturamiento, espesores de fallas y tipos de rellenos entre las juntas en los tramos de macizo fallados dentro de las unidades litológicas 1 a 7, se designó estos tramos como una zona geotécnica.

Además, la falta de ensayos para los tramos fallados por la mala calidad de roca, la determinación de la resistencia a la compresión simple se realizó cualitativamente a partir de índices de campo (Tabla 6.8, anexo 6), se asumió el valor de resistencia a la compresión simple de 25 MPa correspondiente a roca blanda. Además las propiedades físicas y mecánicas serán tomadas de la zona geotécnica a cual pertenezcan.

La clasificación geomecánica en los sitios de observación superficial correspondientes a fallas (2, 7, 11, 13, 17 y 20), indican que el índice RMR varía entre 22 a 44 correspondiente a un macizo de calidad Mala a Media y Clase IV y III. Mientras que el índice Q varía de 0.04 a 0.96 que corresponde a una calidad del macizo Extremadamente Mala a Muy Mala.

3.4 EVALUACIÓN DEL SOPORTE PARA EL TUNEL

3.4.1 EVALUACIÓN DEL SOPORTE CON EL ÍNDICE RMR.

Para determinar las medidas de sostenimiento según el Índice RMR se utiliza la Tabla 3.8 (Bieniawski, 1989) que se indica a continuación:

Tabla 3.8. Recomendaciones de sostenimiento según el RMR (Bieniawski, 1989)

CLASE DE MACIZO ROCOSO	SOSTENIMIENTO		
	PERNOS DE ANCLAJE	HORMIGÓN LANZADO	MARCOS DE ACERO
I MUY BUENA (81-100)	Perno ocasional	No necesario	No necesario
II BUENA (61-80)	En el techo. 2-3 m de longitud, espaciado 2.5 m	50 mm en techo donde se requiera	No necesario
III MEDIA (41-60)	Sistemáticos. 3-4 m de longitud, espaciado 1-1.5 m en el techo y hastiales	50-100 mm en techo y 30 mm en hastiales	No necesario
IV MALA (21-40)	Sistemáticos. 4-5 m de longitud, espaciados 1-1.5 m en techo y hastiales	100-150 mm en techo y 100 mm en hastiales	Cerchas ligeras espaciadas 1.5 m cuando se requieran
V MUY MALA (< 20)	Sistemáticos. 5-6 m de longitud, espaciado 1-1.5 m en techo y hastiales	150-200 mm en techo y 150 mm en hastiales	Cerchas pesadas espaciadas 0.75 m con blindaje de chapas

De las clasificaciones geomecánicas realizadas en superficie, se observó que el índice RMR varía de 22 a 65, lo que significa que el macizo corresponde a las clases IV (Mala) a clase II (Buena). Tomando las recomendaciones de sostenimiento mostrado en la Tabla 3.8, se necesitará de sostenimiento solo en el techo con pernos de 3 m de longitud para la clase II, hasta pernos sistemáticos de 5 m de longitud y espaciados a 1.5 m en el techo y hastiales además de colocación de cerchas ligeras espaciadas 1.5 m para la clase IV, para los tramos correspondientes a fallas.

3.4.2 EVALUACIÓN DEL SOPORTE CON EL ÍNDICE Q.

Para la evaluación del soporte por medio de este sistema, se necesita dos valores:

- El índice Q
- Diámetro Equivalente

Para determinar el valor de diámetro equivalente, se utiliza la siguiente expresión:

$$\text{Diámetro equivalente (DE)} = \frac{\text{Dimensión de obra (m)}}{\text{ESR}}$$

Las dimensiones de la obra.- Se refiere a la magnitud o tamaño de la obra. Por lo general mientras más grande sea el túnel, mayores serán las necesidades de sostenimiento. Por tal razón se debe tomar la dimensión mayor que tenga la sección del túnel. En este estudio se tiene un túnel de 7.90 m para excavación con método de perforación y voladura y 7 m de diámetro para excavación con TBM (Tunnelling Boring Machine). Se ha escogido el valor de 7 m para este análisis en el trabajo.

ESR (Relación de Soporte de Excavación).- Se refiere a la utilización de la obra subterránea relacionándola con condiciones de seguridad (Tabla 3.9).

Para el túnel de Conducción del Proyecto Hidroeléctrico San Francisco se asumirá un valor de ESR igual a 1, que es el valor recomendado por Barton (2000) para túneles de hidroeléctricas a presión.

Tabla 3.9 Valores del Índice ESR de la Clasificación Q (Barton 2000) .

TIPO DE EXCAVACIÓN		ESR
A	Labores mineras, etc.	2 - 5
B	Galerías mineras permanentes, túneles de centrales hidroeléctricas (excluyendo las de lata presión), túneles pilotos, galerías de avance en grandes excavaciones, cámaras de compensación hidroeléctrica.	1.6 – 2.0

C	Cavernas de almacenamiento, plantas de tratamiento de aguas, túneles de carreteras secundarias y de ferrocarril, túneles de acceso.	1.2 -1.3
D	Centrales eléctricas subterráneas, túneles de hidroeléctricas con presión, túneles de carreteras primarias y de ferrocarril, refugios subterráneos para defensa civil, emboquilles e intersecciones de túneles	0.9 – 1.1
E	Centrales nucleares subterráneas, estaciones de ferrocarril, instalaciones públicas y deportivas, fábricas, túneles para tuberías principales de gas	0.5 – 0.8

Por lo tanto, el Diámetro Equivalente (DE), para este estudio tendrá un valor constante de 7.0.

Para obtener el sostenimiento del túnel se utiliza la Figura 3.1 (Barton y Grinstad, 1994), donde se plotea el valor del Índice Q en el eje horizontal y el valor de Diámetro Equivalente (DE) en el eje vertical.

Un punto (Índice Q, DE) en el diagrama caerá en una de las nueve zonas con recomendaciones específicas de sostenimiento.

Este diagrama es válido para techos de túneles y cavernas. Considerando que los requerimientos de soporte son menores en las paredes que en la bóveda, Barton y Grimstad (1994), recomiendan multiplicar por 5 el valor obtenido del Índice Q del techo, para obtener el Índice Q de las paredes para consideraciones de soporte.

El análisis de sostenimiento en este trabajo será tomado exclusivamente para el techo del túnel.

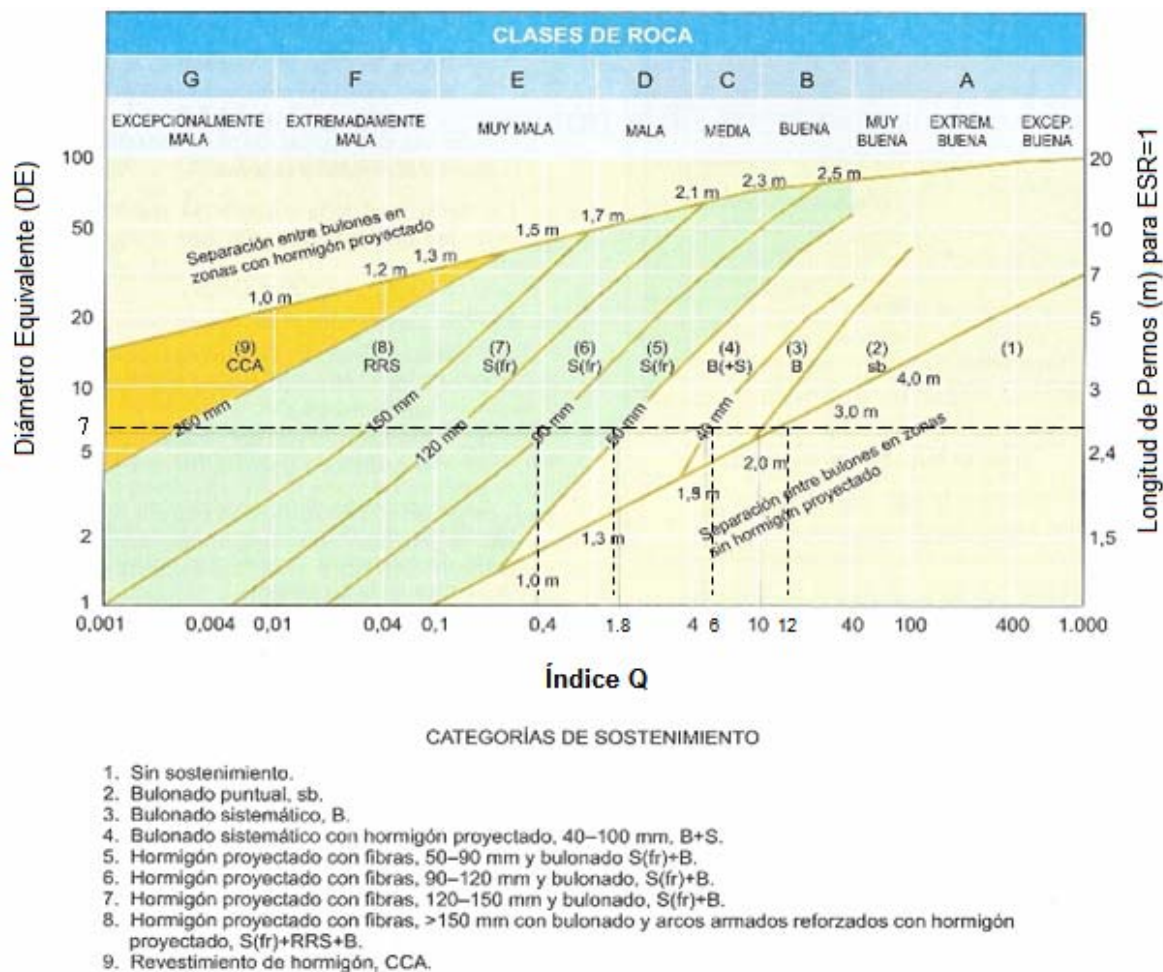


Fig. 3.1. Sostenimiento según el índice Q, (Barton, 2000)

Por otra parte, se puede reducir de 9 a 5 clases de sostenimiento, en base al índice Q, tomando los límites de las categorías de sostenimiento que interceptan el Diámetro Equivalente igual a 7 utilizado en este trabajo (Figura 3.1). Diseño Consolidado (PCE, 2004)

- Clase I $Q > 12$
- Clase II $6 < Q < 12$
- Clase III $1.8 < Q < 6$
- Clase IV $0.4 < Q < 1.8$
- Clase V $Q < 0.4$

A continuación se indica el sostenimiento recomendado para cada clase de sostenimiento:

Clase I

El sostenimiento requerido consiste de pernos esporádicos de 2.6 m de longitud, por tratarse de un macizo de buena calidad, autoportante, con necesidad de sostenimiento puntual de algunos bloques.

Clase II

El sostenimiento consiste en pernos sistemáticos de longitud de 2.6 m con espaciamiento de 2.0 m.

Clase III

El sostenimiento requerido consiste de pernos sistemáticos de 2.6 m con espaciamiento de 1.5, además de hormigón lanzado de 40 – 100 mm de espesor.

Clase IV

El sostenimiento consiste de pernos sistemáticos de 2.6 m de longitud y espaciamiento de 2.5 m, además de hormigón lanzado con fibra de acero de 90 – 50 mm.

Según Barton (2000), cita que durante la etapa de excavación con TBM es necesario utilizar dovelas (anillos de hormigón armado prefabricado), como sostenimiento que asegura la estabilidad de la obra, en vez de aumentar los espesores del hormigón lanzado con fibra y los pernos de anclaje.

La utilización de dovelas también es recomendado en los informes técnicos sobre valoración de clases de sostenimientos para excavación con TBM realizados por Büchi (2000) y Griffon (2004), para el macizo rocoso con valores

de Índice Q menores a 1.8 que se encuentren en el túnel de conducción del Proyecto San Francisco.

Clase V

De acuerdo a la Figura 3.1, se requiere pernos sistemáticos de 2.6 m de longitud espaciados a 2.3 m además de hormigón lanzado con fibra de acero de espesor 90 – 120 mm.

Para facilitar las labores de sostenimiento y por medidas de seguridad durante la excavación con método de perforación y voladura, es posible utilizar cerchas de acero, con espaciamiento 1.2 m, revestido con 150 cm de de hormigón lanzado con fibra de acero, Diseño Consolidado (PCE, 2004).

Al igual que la clase de sostenimiento IV, para la excavación con TBM, es necesario utilizar anillos de hormigón prefabricado con resistencia mayor que la clase anterior (Büchi ,2000).

CAPITULO 4

RELACIONES ENTRE LA VELOCIDAD DE PENETRACIÓN DEL TBM Y LAS CARACTERISTICAS GEOMECHANICAS DEL MACIZO ROCOSO EN EL TUNEL DE CONDUCCION

4.1 INTRODUCCIÓN

El principal objetivo para este estudio es conocer la relación entre los parámetros mecánicos de la máquina excavadora o TBM (Tunnelling Boring Machine) y las características geomecánicas del macizo rocoso, con el fin de pronosticar las velocidades de penetración del TBM en el macizo.

Para la realización de este análisis, se utilizaron las características geomecánicas del macizo rocoso y los parámetros mecánicos registrados por el TBM en los 1950 m de excavación mecanizada con TBM entre las abscisas 7+454 a 9+404 del túnel de Conducción. Para facilitar el análisis se utilizaron 84 tramos en donde se registraron los parámetros mecánicos de la máquina y las características geomecánicas del macizo. El tramo analizado corresponde a rocas metamórficas e intrusivas de las zonas geotécnicas IV y V (Capítulo III).

Para el efecto se debe determinar una relación entre el índice Q_{TBM} (*modificado*), y la velocidad de penetración (VP) (mm/rev) del TBM. El índice Q_{TBM} (*modificado*), es una modificación del índice Q_{TBM} , que fue desarrollado por Barton (2000) para determinar las velocidades de avance (VA) (m/h) de una máquina excavadora. El índice Q_{TBM} combina los parámetros del sistema de clasificación geomecánica de macizos rocosos Q, con parámetros mecánicos de la máquina excavadora (TBM), como: fuerza de empuje, número de cortadores, revoluciones de la cabeza cortadora, índice de vida del cortador. Posteriormente se determinaron las velocidades de penetración (VP) de la máquina excavadora, para tramos del macizo rocoso del túnel de conducción que falta por excavar.

4.1.1 TUNNELLING BORING MACHINE (TBM)

En general, las máquinas TBM (tuneladoras o topos) excavan el frente de roca a sección completa mediante la acción combinada de la rotación y empuje (Figura 4.1).

El TBM, excava en una amplia gama de rocas, desde blandas hasta de alta resistencia. La principal ventaja es el rendimiento que puede alcanzar, pues en un proceso continuo excavan, sanean, sostienen y revisten el túnel. Las limitaciones surgen en los macizos rocosos heterogéneos, como zonas con fallas, tramos con aportes importantes de agua, terrenos plásticos o con altos esfuerzos de tensión.

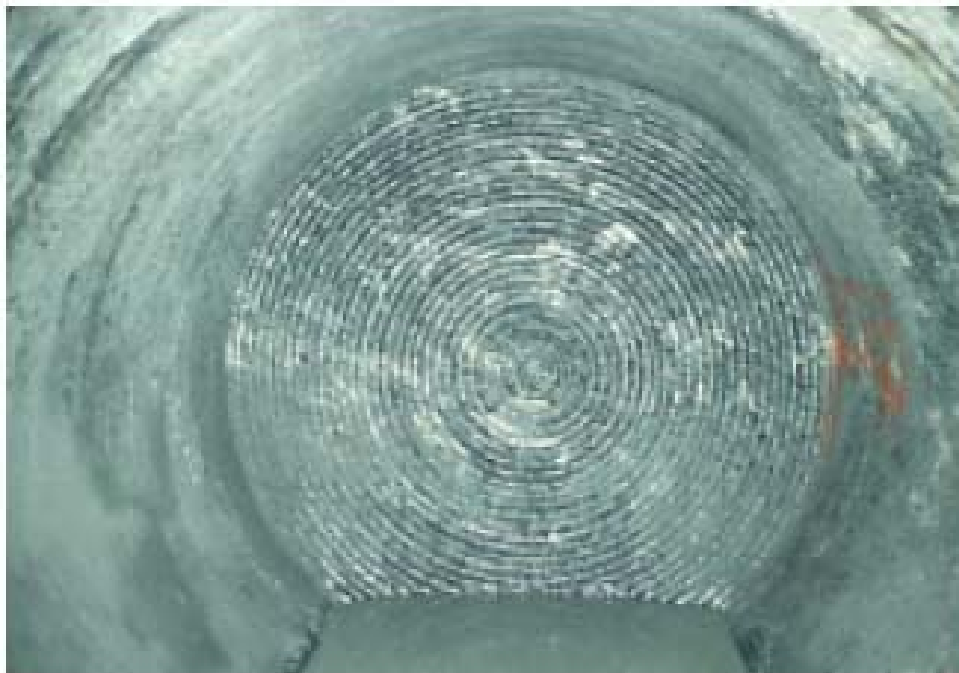


Figura. 4.1 Superficie dejada por un TBM al excavar (Tomado de Blindheim, 1972)

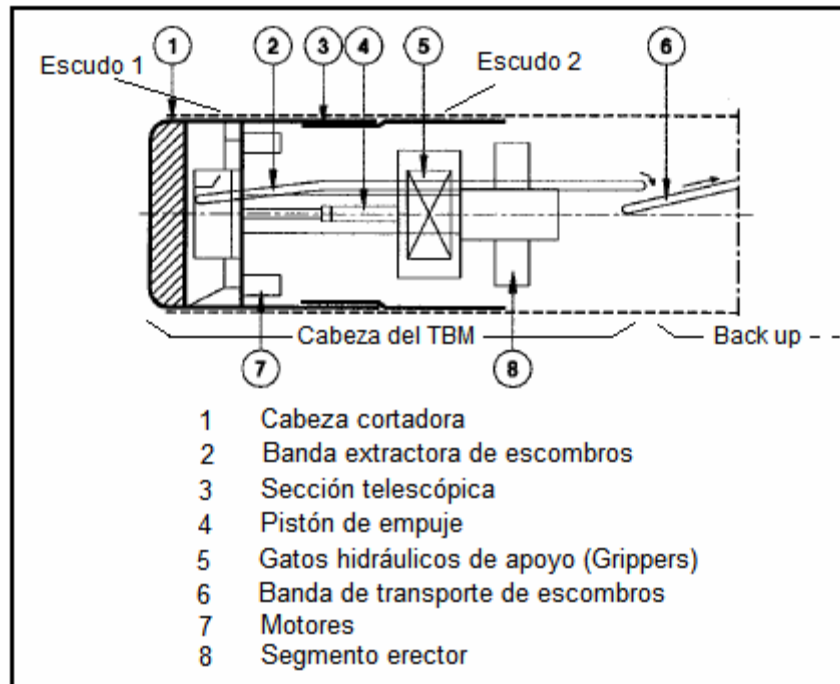


Figura 4.2 Diagrama de la cabeza del TBM de doble escudo WIRTH (Tomado de AFTES, 2000)

Un TBM consta de 2 partes principales (Figura 4.2): la cabeza donde se encuentran los motores y el sistema hidráulico que sirven para que la cabeza cortadora giratoria ejerza la fuerza contra la roca, de modo que los discos de corte penetren en la cara del macizo y en cada revolución puedan fracturar y arrancar la roca (Figura 4.3); y el back up, donde se asientan los sistemas energéticos, de ventilación, control y de transporte de escombros por medio de vagones hacia la superficie.

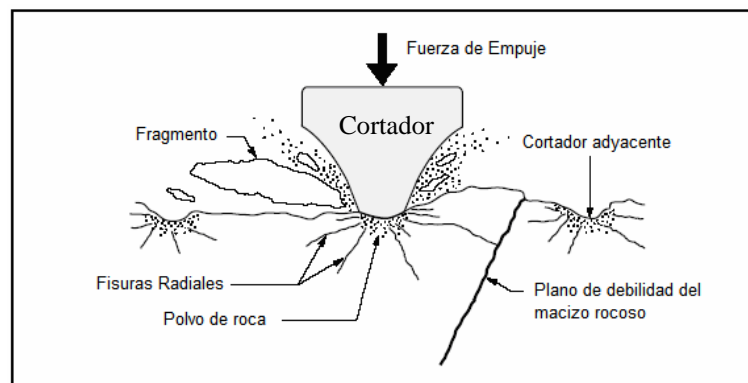


Figura 4.3 Principio de fracturamiento de un cortador. (Tomado de Bruland, 1994)

4.2 CARACTERÍSTICAS DEL TBM UTILIZADO PARA LA EXCAVACIÓN DEL TÚNEL DE CONDUCCIÓN

El TBM utilizado en la excavación del Túnel de Conducción, es de la marca WIRTH (Figura 4.4), de doble escudo telescópico, lo que permite tener 10 m de protección para el personal desde la cabeza cortadora hacia atrás. En esta zona de protección el TBM permite la colocación de anillos prefabricados (dovelas) para los tramos con condiciones geomecánicas malas (clase de soporte IV y V, Capítulo III). Las principales características de esta máquina se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 4.1 Características generales del TBM usado en la excavación del túnel de Conducción del Proyecto "San Francisco"

PARÁMETROS DE TBM WIRTH – PROYECTO SAN FRANCISCO		
Diámetro del TBM		7.04 m
Cabeza del TBM	Poder instalado	1764 Kw
	RPM	0 – 7.2 Rango
	Fuerza de Empuje (Máx)	15000 KN
Cortadores	Número	50
	Diámetro	17"
	Ancho de la punta	25 mm
	Carga máxima por cortador	250 KN
Avance de excavación		1.4 m
Mínimo radio de curva		250 m.
Peso del TBM		640 t



Figura 4.4. Tunnelling Boring Machine utilizada para la construcción del Túnel de Conducción del Proyecto Hidroeléctrico “San Francisco”

4.3 PARÁMETROS MECÁNICOS REGISTRADOS EN EL TBM

Para el análisis se consideran los parámetros y factores que se relacionan directamente con la velocidad de penetración inmediata (VP) del TBM en el macizo.

Los parámetros registrados en los 1950 m excavados con TBM son los siguientes:

- Fuerza de Empuje Total (FET)
- Fuerza de Empuje por cortador (F)
- Revoluciones de la cabeza cortadora (RPM)
- Velocidades de Penetración por revolución (VP)

Fuerza de Empuje Total (FET), este parámetro es registrado directamente en la cabina de mando del operador, depende básicamente del poder instalado en la

cabeza del TBM y de la sensibilidad del operador para aumentar o disminuirlo con el fin de salvaguardar la integridad de la máquina.

Fuerza de Empuje por Cortador (F), es el resultado de dividir la fuerza de empuje total de la máquina para el número de cortadores o discos que se encuentran en la cabeza cortadora, lo cual en la máquina utilizada son 50 cortadores. Este valor determina la fuerza puntual que soporta el macizo para ser fracturado.

Revoluciones de la cabeza cortadora (RPM), el TBM utilizado tiene un rango de operación de 0 – 7.2 RPM, y su magnitud depende del operador de la máquina.

Velocidades de Penetración por revolución (VP), determina la penetración en milímetros que se obtiene para cada vuelta de la cabeza cortadora. Este parámetro se lo registró en la cabina de control de la máquina.

A continuación se muestra en la Tabla 4.2 los parámetros mecánicos del TBM obtenidos en los 1950 m de túnel excavado.

Tabla 4.2 Parámetros mecánicos del TBM.

Abscisas		Long. (m)	FET (KN)	F (tf)	VP (mm/rev)	RPM
De	A					
7+454.00	7+484.00	30	8098.83	16.20	7.97	5.56
7+484.00	7+514.00	30	9254.38	18.51	7.05	5.26
7+514.00	7+536.00	22	7377.94	14.76	11.42	4.66
7+536.00	7+549.00	13	7155.56	14.31	10.25	4.80
7+549.00	7+564.00	15	7770.36	15.54	9.07	5.11
7+564.00	7+592.00	28	8757.25	17.51	5.61	5.82
7+592.00	7+614.00	22	8224.35	16.45	6.24	4.74
7+614.00	7+634.00	20	8926.00	17.85	5.79	5.89
7+634.00	7+652.00	18	9276.42	18.55	6.27	5.59
7+652.00	7+664.00	12	10056.33	20.11	4.41	6.34
7+664.00	7+709.00	45	8311.78	16.62	5.87	5.98
7+709.00	7+744.00	35	7969.12	15.94	6.59	6.27
7+744.00	7+754.00	10	8033.14	16.07	4.14	6.97
7+754.00	7+774.00	20	8167.27	16.33	6.19	6.34
7+774.00	7+784.00	10	9723.14	19.45	3.69	7.29
7+784.00	7+804.00	20	9529.79	19.06	5.36	6.66
7+804.00	7+834.00	30	8418.59	16.84	7.38	6.51

7+834.00	7+854.00	20	8878.73	17.76	6.32	6.21
7+854.00	7+864.00	10	8217.29	16.43	4.49	5.69
7+864.00	7+879.00	15	8294.18	16.59	8.22	4.85
7+879.00	7+907.00	28	9409.45	18.82	5.81	6.10
7+907.00	7+922.00	15	10358.82	20.72	4.01	6.60
7+922.00	7+941.00	19	8812.23	17.62	8.06	5.41
7+941.00	7+954.00	13	7868.30	15.74	9.00	4.85
7+954.00	7+971.00	17	8242.67	16.49	7.40	6.76
7+971.00	7+984.00	13	8846.44	17.69	7.78	6.40
7+984.00	7+999.00	15	7974.36	15.95	6.46	6.17
7+999.00	8+014.00	15	7928.09	15.86	7.05	6.55
8+014.00	8+034.00	20	8067.53	16.14	6.72	6.72
8+034.00	8+054.00	20	7740.07	15.48	7.34	6.41
8+054.00	8+097.00	43	8118.65	16.24	6.49	6.55
8+097.00	8+121.00	24	8374.18	16.75	6.60	6.26
8+121.00	8+139.00	18	7355.85	14.71	7.36	6.34
8+139.00	8+174.00	35	8658.00	17.32	5.66	6.26
8+174.00	8+186.00	12	9070.38	18.14	5.35	6.69
8+186.00	8+212.00	26	8224.89	16.45	7.61	6.04
8+212.00	8+259.00	47	8242.53	16.49	6.64	6.01
8+259.00	8+284.00	25	5702.17	11.40	9.05	5.02
8+284.00	8+314.00	30	7163.68	14.33	6.44	6.08
8+314.00	8+334.00	20	8142.86	16.29	6.62	5.83
8+334.00	8+356.00	22	7389.94	14.78	5.52	6.23
8+356.00	8+384.00	28	8139.25	16.28	5.29	5.85
8+384.00	8+414.00	30	9045.18	18.09	4.71	6.42
8+414.00	8+459.00	45	8243.16	16.49	5.54	8.00
8+459.00	8+484.00	25	6558.83	13.12	6.25	5.92
8+484.00	8+509.00	25	7776.44	15.55	5.43	5.77
8+509.00	8+530.00	21	8938.24	17.88	5.70	5.93
8+530.00	8+563.00	33	9009.40	18.02	6.09	5.70
8+563.00	8+581.00	18	9121.62	18.24	5.28	6.09
8+581.00	8+613.00	32	8682.04	17.36	4.83	6.41
8+613.00	8+629.00	16	6860.36	13.72	6.74	6.15
8+629.00	8+649.00	20	7016.00	14.03	6.24	6.41
8+649.00	8+679.00	30	8992.36	17.98	5.32	5.06
8+679.00	8+697.00	18	5917.08	11.83	8.30	5.33
8+697.00	8+714.00	17	8848.42	17.70	5.07	6.72
8+714.00	8+744.00	30	9033.68	18.07	6.24	6.57
8+744.00	8+774.00	30	9791.29	19.58	5.84	6.46
8+774.00	8+789.00	15	9846.91	19.69	5.55	6.34
8+789.00	8+819.00	30	10767.29	21.53	5.79	6.23
8+819.00	8+834.00	15	10085.80	20.17	8.23	6.27
8+834.00	8+848.00	14	11622.11	23.24	5.59	5.91
8+848.00	8+874.00	26	10720.44	21.44	6.92	5.93
8+874.00	8+889.00	15	11244.00	22.49	5.48	6.20
8+889.00	8+909.00	20	11900.77	23.80	4.47	6.15

8+909.00	8+917.00	8	11720.00	23.44	4.60	6.04
8+917.00	8+929.00	12	11805.67	23.61	3.65	6.08
8+929.00	8+949.00	20	10768.40	21.54	4.24	6.45
8+949.00	8+964.00	15	11000.00	22.00	6.16	6.37
8+964.00	9+004.00	40	10929.40	21.86	8.05	6.83
9+004.00	9+024.00	20	12158.69	24.32	3.12	7.31
9+024.00	9+029.00	5	7875.00	15.75	5.05	7.50
9+029.00	9+054.00	25	10141.71	20.28	5.24	6.96
9+054.00	9+084.00	30	9012.00	18.02	5.31	6.99
9+084.00	9+109.00	25	10329.26	20.66	6.47	6.61
9+109.00	9+144.00	35	9289.69	18.58	6.13	6.70
9+144.00	9+204.00	60	9935.89	19.87	5.99	7.03
9+204.00	9+224.00	20	8391.80	16.78	5.37	7.47
9+224.00	9+234.00	10	7831.63	15.66	5.94	6.48
9+234.00	9+249.00	15	10615.83	21.23	3.63	7.23
9+249.00	9+268.00	19	9985.38	19.97	4.27	7.12
9+268.00	9+319.00	51	9306.09	18.61	7.90	7.11
9+319.00	9+329.00	10	10820.00	21.64	6.23	6.50
9+329.00	9+361.00	32	10462.42	20.92	3.37	7.03
9+361.00	9+404.00	43	8075.75	16.15	5.67	5.42

FET= Fuerza de empuje total; F= Fuerza de empuje por cortador; VP= Velocidad de penetración del TBM; RPM= Revoluciones por minuto de la cabeza del TBM

4.4 CARACTERÍSTICAS GEOMECÁNICAS DEL MACIZO ROCOSO EXCAVADO CON TBM.

Con el fin de llegar a una relación directa de los parámetros mecánicos del TBM y las características geomecánicas del macizo, se utilizaron los siguientes factores o parámetros:

- Litología
- Resistencia a la compresión simple.
- RQD
- Densidad de la roca
- Dureza de la roca.

Estos parámetros fueron determinados para 84 tramos con homogeneidad geomecánica en el túnel de Conducción, a partir de observaciones directas del macizo rocoso en 1950 m de excavación con TBM (Anexo 8)

4.5 RELACIÓN ENTRE LA VELOCIDAD DE PENETRACIÓN DEL TBM Y EL ÍNDICE Q_{TBM} (Modificado).

La relación entre la velocidad de penetración del TBM y las características geomecánicas del macizo será obtenida mediante una relación empírica desprendida del índice Q_{TBM} (*modificado*), modificado para este trabajo, que parte del índice Q_{TBM} , desarrollado por Barton (2000).

El índice Q_{TBM} (*modificado*), fue desarrollado para este trabajo tomando en cuenta parámetros que involucran la resistencia del macizo a ser perforado y el desempeño directo de la máquina, sin analizar valores como CLI (índice de vida del cortador), parámetro mecánico que involucran pérdidas de tiempo por desgaste de los cortadores utilizado en el índice Q_{TBM} , que fue desarrollado para determinar velocidades de avance (*VA*), que es la velocidad obtenida para lapsos de tiempo (días, semanas, meses, etc), tomando en cuenta pérdidas de tiempo por problemas operacionales (cambios de cortadores).

4.5.1 ÍNDICE Q_{TBM}

El Índice Q_{TBM} , se representa con la siguiente expresión (Barton, 2000):

$$Q_{TBM} = \frac{RQD_0}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a} \times \frac{J_w}{SRF} \times \frac{SIGMA}{F} \times \frac{20}{CLI} \times \frac{q}{20} \quad (1)$$

Donde,

- RQD_0 = RQD tomado en una orientación paralela al eje del túnel
- J_n = Número de familias de discontinuidades
- J_r = Rugosidad de las discontinuidades.

J_a	=	Alteración de las discontinuidades
J_w	=	Coefficiente de reducción debido a la presencia de agua
SRF	=	Factor de reducción debido a los esfuerzos.
$SIGMA$	=	Relación que implica características del macizo rocoso, normalizados con el índice Q convencional. (MPa)
F	=	Fuerza de empuje por cortador del TBM (tnf)
CLI	=	Índice de vida del cortador
q	=	porcentaje de cuarzo de la roca

4.5.2 DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE Q_{TBM} (MODIFICADO)

Es una variación del Índice Q_{TBM} utilizado en este estudio. El Índice Q_{TBM} (*Modificado*), se representa en la siguiente expresión:

$$Q_{TBM} (\text{Modificado}) = \frac{RQD}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a} \times \frac{J_w}{SRF} \times \frac{SIGMA}{F} \times \frac{DMoh's}{k} \quad (2)$$

$$SIGMA = 5\gamma Q_C^{1/3} \quad (3)$$

$$Q_C = Q \frac{\sigma_c}{100} \quad (4)$$

Donde,

RQD	=	RQD
J_n	=	Número de familias de discontinuidades
J_r	=	Rugosidad de las discontinuidades.
J_a	=	Alteración de las discontinuidades
J_w	=	Coefficiente de reducción debido a la presencia de agua
SRF	=	Factor de reducción debido a los esfuerzos.
$SIGMA$	=	Relación que implica características del macizo rocoso, normalizados con el índice Q convencional. (MPa)

F	=	Fuerza de empuje por cortador del TBM (tnf)
$DMoh's$	=	Dureza Moh's de la roca.
k	=	Constante que normaliza la dureza Moh's
Q	=	Índice Q
γ	=	Densidad de la roca, (tf/m ³)
Q_C	=	Índice Q normalizado a la resistencia a la compresión uniaxial para 100
σ_c	=	Resistencia a la compresión simple de la roca (MPa).

A continuación se explica la forma de obtención de los parámetros incluidos en Q_{TBM} (*Modificado*)

RQD, fue estimado del número de discontinuidades por unidad de volumen para cada tramo de túnel de forma similar al determinado en los sitios de observación superficial (capítulo III), utilizando la relación sugerida por Palmstrom, (1982)

Los valores de RQD del macizo durante la excavación del túnel se presentan en la Tabla 8.1, anexo 8

Jn, Jr, Ja, Jw y SRF, son los parámetros utilizados para la valoración del Índice Q, explicados en el capítulo III, los valores obtenidos de observaciones directas en el macizo durante la excavación del túnel. (Tabla 9.1, Anexo 9).

SIGMA, determinado a partir de las expresiones (3) y (4), se calcula con la densidad (γ), Índice Q y Resistencia a la compresión simple (σ_c). Estos valores se presentan en la Tabla 10.1 del Anexo 10.

Densidad del Macizo Rocoso (γ), este parámetro se lo asignó dependiendo de la litología encontrada durante la excavación y asociándolo con los resultados de los tramos geomecánicos obtenidos en el capítulo III. A continuación se muestra una tabla de la asignación de la densidad por litología.

Tabla 4.3 Relación de la densidad con la litología

Litología	Densidad (tf/m³)
Esquistos	2.75
Gneis	2.82
Granito	2.63

Resistencia a la compresión simple (σ_c), este parámetro geomecánico es la resistencia principal que ofrece la roca hacia la carga ejercida por los cortadores. Se la obtuvo de estimaciones aproximadas a partir de índices de campo, se presentan en la tabla 8.1 del Anexo 8. La falta de datos de laboratorio es una consecuencia del método automatizado de excavación y la falta de recursos para realizarlos.

Fuerza de empuje por cortador (F), representa la fuerza de empuje total del TBM dividida para el número de cortadores, la fuerza de empuje total fue obtenida directamente de los registros de la máquina durante la excavación. Los valores utilizados para este trabajo se encuentran en la Tabla 4.2.

Dureza de la roca Moh's (D Moh's), esta propiedad está relacionada directamente con la resistencia de la roca y depende de la composición mineralógica y el grado de meteorización que afecte a la roca. Debido a la cobertura vertical del túnel variable entre 62 m a 878 m, se considera una meteorización nula.

El valor de dureza Moh's de roca, se la obtuvo a partir la dureza Vickers de la roca (VHNR), calculada en base a los porcentajes de los minerales de las muestras analizadas microscópicamente (Anexo 1), utilizando la dureza Vickers de cada mineral (Tabla 11.1, Anexo 11). De esta manera se obtuvo la dureza de roca Vickers (VHNR) para cada litología presente dentro de las zonas geotécnicas del trazado del túnel (Anexo 11).

Según Ozdemir and Nilsen, (1998), los logaritmos de escalas de dureza de los minerales Vickers y Moh's, tienen una relación lineal, como se observa en la

Figura 4.5, los valores de durezas utilizados para obtener esta relación se presentan en la tabla 4.4.

Tabla 4.4 Relaciones entre dureza Vickers y dureza Moh's

Mineral	Dureza Moh's	Log (Dmoh's)	Dureza Vickers	Log (Dvickers)
yeso	2	0.301	50	1.699
calcita	3	0.477	125	2.097
fluorita	4	0.602	265	2.423
apatito	5	0.699	550	2.740
ortoclasa	6	0.778	730	2.863
cuarzo	7	0.845	1060	3.025
corindón	9	0.954	2300	3.362

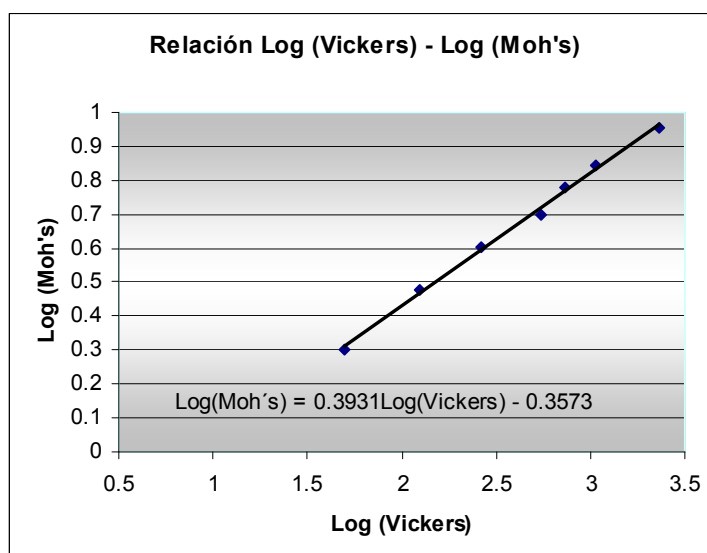


Figura 4.5 Gráfico de la relación entre las durezas Vickers y Moh's

Con esto se llegó a la siguiente relación para transformar la dureza Vickers en dureza Moh's:

$$DMoh's = 10^{0.3913 \times \log(Vickers) - 0.3573} \quad (5)$$

Se calculó la dureza Moh's en función del porcentaje de litología encontrado en los 84 tramos utilizados para el análisis durante la excavación con TBM (Anexo 8).

Constante para normalizar el valor de dureza Moh's (k), se asume arbitrariamente este valor en 5.11, debido a que es el promedio de las durezas obtenidas en el tramo analizado. Aunque esta constante k debería ser medido en laboratorio y es la responsable para que el Índice Q_{TBM} (*Modificado*), se magnifique o disminuya.

Índice Q, clasificación geomecánica del macizo rocoso realizada durante la excavación del túnel, (Anexo 9)

A continuación se presenta la Tabla 4.5 con la valoración del Índice Q_{TBM} (*Modificado*), y la velocidad de penetración (VP) obtenido en los 84 zonas en el tramo estudiado. En el anexo 10 se presentan todos los parámetros utilizados para la obtención del Q_{TBM} (*Modificado*),

Tabla 4.5 Índice Q_{TBM} (*Modificado*) y Velocidades de Penetración (VP) para los 1950 m excavados con TBM en el túnel de Conducción.

Abscisas		VP (mm/rev)	QTBM
De	A		
7+454.00	7+484.00	7.97	8.95
7+484.00	7+514.00	7.05	14.36
7+514.00	7+536.00	11.42	9.79
7+536.00	7+549.00	10.25	7.96
7+549.00	7+564.00	9.07	37.25
7+564.00	7+592.00	5.61	35.67
7+592.00	7+614.00	6.24	12.01
7+614.00	7+634.00	5.79	51.36
7+634.00	7+652.00	6.27	20.14
7+652.00	7+664.00	4.41	22.58
7+664.00	7+709.00	5.87	2.91
7+709.00	7+744.00	6.59	31.16
7+744.00	7+754.00	4.14	39.49
7+754.00	7+774.00	6.19	56.13
7+774.00	7+784.00	3.69	44.15
7+784.00	7+804.00	5.36	27.97
7+804.00	7+834.00	7.38	37.11
7+834.00	7+854.00	6.32	28.46
7+854.00	7+864.00	4.49	31.03
7+864.00	7+879.00	8.22	4.92
7+879.00	7+907.00	5.81	24.45

7+907.00	7+922.00	4.01	16.14
7+922.00	7+941.00	8.06	12.30
7+941.00	7+954.00	9.00	13.67
7+954.00	7+971.00	7.40	16.90
7+971.00	7+984.00	7.78	18.92
7+984.00	7+999.00	6.46	25.73
7+999.00	8+014.00	7.05	11.69
8+014.00	8+034.00	6.72	9.92
8+034.00	8+054.00	7.34	5.76
8+054.00	8+097.00	6.49	15.01
8+097.00	8+121.00	6.60	11.39
8+121.00	8+139.00	7.36	7.45
8+139.00	8+174.00	5.66	15.97
8+174.00	8+186.00	5.35	9.85
8+186.00	8+212.00	7.61	14.63
8+212.00	8+259.00	6.64	27.89
8+259.00	8+284.00	9.05	19.35
8+284.00	8+314.00	6.44	34.11
8+314.00	8+334.00	6.62	51.24
8+334.00	8+356.00	5.52	49.47
8+356.00	8+384.00	5.29	130.22
8+384.00	8+414.00	4.71	117.18
8+414.00	8+459.00	5.54	128.58
8+459.00	8+484.00	6.25	143.99
8+484.00	8+509.00	5.43	135.14
8+509.00	8+530.00	5.70	113.33
8+530.00	8+563.00	6.09	76.89
8+563.00	8+581.00	5.28	9.70
8+581.00	8+613.00	4.83	52.26
8+613.00	8+629.00	6.74	55.91
8+629.00	8+649.00	6.24	149.79
8+649.00	8+679.00	5.32	371.39
8+679.00	8+697.00	8.30	47.57
8+697.00	8+714.00	5.07	239.49
8+714.00	8+744.00	6.24	197.50
8+744.00	8+774.00	5.84	334.33
8+774.00	8+789.00	5.55	157.23
8+789.00	8+819.00	5.79	304.03
8+819.00	8+834.00	8.23	154.06
8+834.00	8+848.00	5.67	191.93
8+848.00	8+874.00	6.92	206.37
8+874.00	8+889.00	5.48	227.79
8+889.00	8+909.00	4.47	229.81
8+909.00	8+917.00	4.60	254.74
8+917.00	8+929.00	3.65	223.77
8+929.00	8+949.00	4.24	136.11
8+949.00	8+964.00	6.16	182.98

8+964.00	9+004.00	8.05	218.56
9+004.00	9+024.00	3.12	207.44
9+024.00	9+029.00	5.05	240.76
9+029.00	9+054.00	5.24	215.34
9+054.00	9+084.00	5.31	203.68
9+084.00	9+109.00	6.47	207.49
9+109.00	9+144.00	6.13	232.51
9+144.00	9+204.00	5.99	187.78
9+204.00	9+224.00	5.37	333.19
9+224.00	9+234.00	5.94	107.18
9+234.00	9+249.00	3.63	281.24
9+249.00	9+268.00	4.27	121.72
9+268.00	9+319.00	7.90	100.55
9+319.00	9+329.00	6.23	130.00
9+329.00	9+361.00	3.37	95.50
9+361.00	9+404.00	5.67	152.53

La Figura 4.6, muestra el gráfico con el ploteo de los valores de Q_{TBM} (Modificado) vs. La velocidad de penetración (mm/rev) (VP), obtenidos para los 1950 m excavados con TBM.

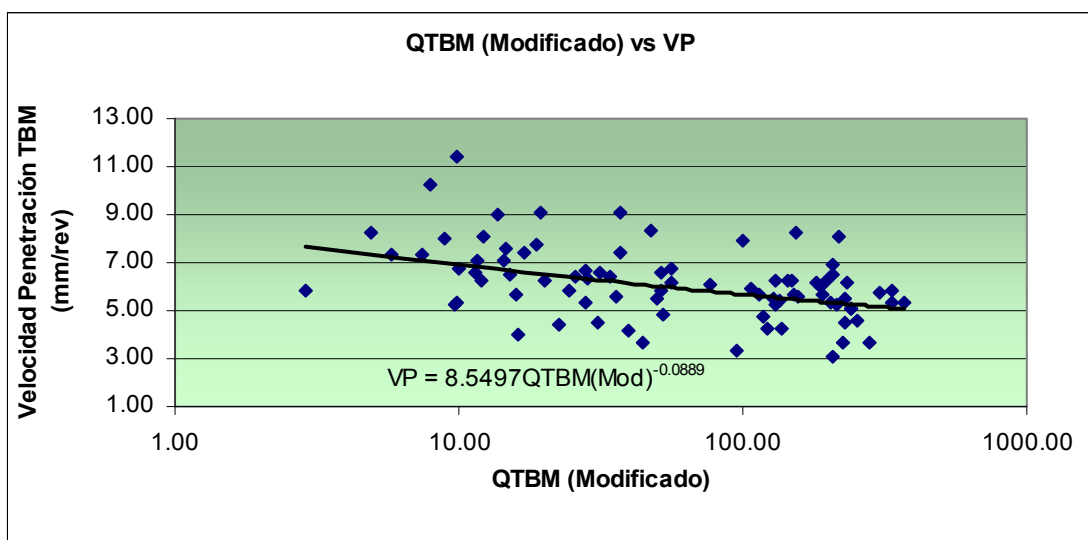


Figura 4.6 Ploteo del Índice Q_{TBM} (Modificado) vs. la velocidad de penetración (mm/rev) (VP), en los 1950 m de túnel excavado.

De la Figura 4.6, a través de un análisis de mínimos cuadrados de las variables involucradas, se tiene la expresión (6), que relaciona las características geomecánicas del macizo rocoso del tramo excavado con el desempeño del TBM utilizado en este proyecto, a través de la velocidad de penetración (VP):

$$VP(mm/rev) \approx 8.55Q_{TBM} (Mod)^{-0.0889} \quad (6)$$

Para calcular la velocidad de penetración (VP) en (m/h), basta con aplicar la siguiente relación:

$$VP(m/h) = VP(mm/rev) * RPM * \frac{60}{1000} \quad (7)$$

4.5.3 PREDICCIÓN DE VELOCIDADES DE PENETRACIÓN PARA EL TRAMO DE TÚNEL NO EXCAVADO.

El pronóstico de la Velocidad de Penetración (VP) en los 7050 m restantes por excavar con TBM, entre las abscisas 0+404 a 7+454 del túnel, se lo realizó a partir de la relación empírica determinada en base al Índice Q_{TBM} (*Modificado*), para cada zona geomecánica utilizando la clasificación del macizo con el sistema Q obtenido en los sitios de observación en superficie (Mapa 2, Anexo 12), y los parámetros geomecánicos de cada zona geomecánica (Capítulo III).

Los tramos a determinar la velocidad de penetración son:

- Zona 1: Tramo de esquistos cuarzo micáceos grafitosos
- Zona 2: Tramo de esquistos negros y esquistos grafitosos
- Zona 3: Tramo de esquistos y gneis.
- Zona 4: Tramo de gneis y esquistos.
- Zona 5: Tramo de granito orientado
- Zona 6: Tramo de macizo fallado

A continuación en la Tabla 4.6 se presentan los sitios de clasificación geomecánicas de superficie con sus respectivos parámetros (determinados en el Capítulo III). Los parámetros Q_c y $SIGMA$, fueron calculados con las expresiones (3) y (4) expuestas anteriormente.

Tabla 4.6 Sitios de Clasificación Geomecánica determinados en superficie con sus propiedades

Sitio de Observación	Índice Q	RCS (MPa)	Densidad (tf/m ³)	Qc (Mpa)	Sigma (Mpa)	Zona Geomecánica
1	7.20	54	2.81	3.89	22.09	1
3	14.00	109	2.95	15.26	36.59	2
4	9.00	109	2.95	9.81	31.58	
5	6.17	109	2.95	6.73	27.84	
6	23.80	131	2.77	31.18	43.59	3
8	11.50	131	2.77	15.07	34.21	
9	4.46	131	2.77	5.84	24.95	
10	11.11	104	2.75	11.55	31.09	
12	1.52	59	2.86	0.90	13.79	4
14	0.70	59	2.86	0.41	10.65	
15	13.83	59	2.86	8.16	28.79	
16	1.60	60	2.77	0.96	13.66	
18	3.37	60	2.77	2.02	17.51	
19	12.50	60	2.77	7.50	27.11	
21	12.50	149	2.63	18.63	34.86	5
22	16.67	149	2.63	24.84	38.37	
23	18.52	149	2.63	27.59	39.74	
2	0.26	25	2.81	0.07	5.649	6
7	0.83	25	2.77	0.21	8.200	
11	0.96	25	2.75	0.24	8.545	
13	0.04	25	2.86	0.01	3.081	
17	0.39	25	2.77	0.10	6.375	
20	0.69	25	2.77	0.17	7.710	

Los parámetros mecánicos del TBM requeridos para la determinación del Índice Q_{TBM} (*Modificado*) fueron obtenidos de la siguiente manera:

RPM, se utilizó el promedio de este parámetro registrado por los operadores en los 1950 m excavados, que corresponde a 6.22 (Ver Tabla 10.1, anexo 10)

Fuerza de empuje por cortador (F), Debido a que este parámetro depende estrictamente del operador, se realizó un análisis de las Fuerza de Empuje por cortador (F) versus $SIGMA$, parámetro que involucra características de la roca, para los 1950 m de excavación con el fin de obtener una relación empírica que sirva para pronosticar este valor. Los valores utilizados para este análisis se encuentran en la tabla 10.1, del anexo 10

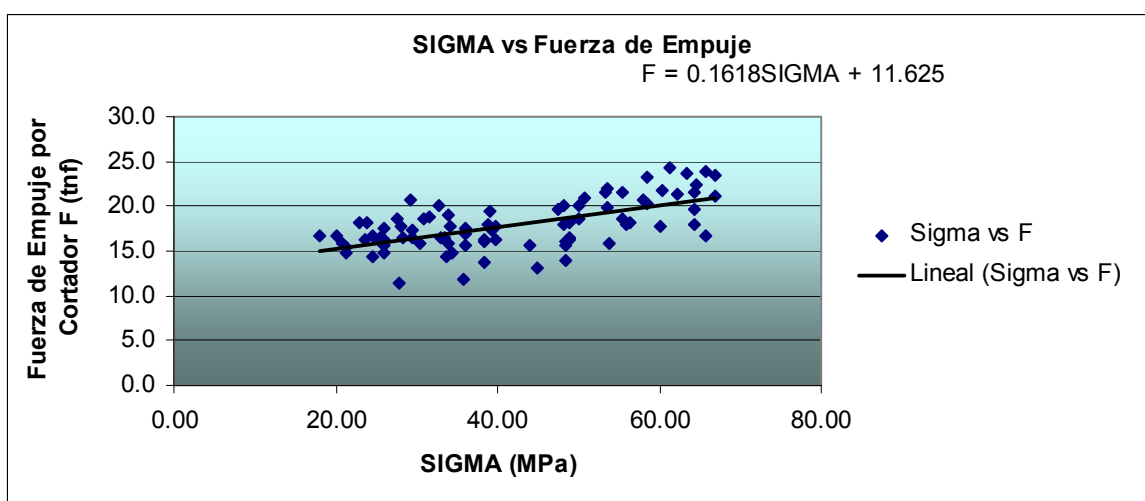


Figura 4.7 Ploteo entre SIGMA y Fuerza de Empuje por cortador, en los 1950 m de excavación del túnel de conducción.

La relación empírica (8) obtenida, será utilizada para determinar el valor de empuje en función de SIGMA, en los sitios de observación e interpolar hacia los 7050 m restantes por excavar.

$$F = 0.16 \times SIGMA + 11.62 \quad (8)$$

Tabla 4.7 Obtención de la Fuerza de empuje por cortador (F) en función de SIGMA.

Sitio de Observación	SIGMA	F (tf)
1	22.09	15.15
3	36.59	17.47
4	31.58	16.67
5	27.84	16.07
6	43.59	18.59
8	34.21	17.09

9	24.95	15.61
10	31.09	16.59
12	13.79	13.83
14	10.65	13.32
15	28.79	16.23
16	13.66	13.81
18	17.51	14.42
19	27.11	15.96
21	34.86	17.20
22	38.37	17.76
23	39.74	17.98
2	5.649	12.52
7	8.200	12.93
11	8.545	12.99
13	3.081	12.11
17	6.375	12.64
20	7.710	12.85

Dureza de la roca Moh's (D Moh's), Se obtuvo del promedio de las durezas obtenidas con las descripciones petrográficas para cada zona geotécnica (Anexo 11). Para la zona geotécnica 6: Tramo de macizo fallado, debido a no tener descripciones petrográficas, se tomará la dureza correspondiente a la zona geomecánica a la que pertenezca.

Tabla 4.8 Promedios de dureza Vickers y Moh's para cada zona geotécnica

Zona Geomecánica	Dureza Vickers VHNR	Dureza Moh's
1	474	5.03
2	371	4.57
3	431	4.85
4	509	5.18
5	769	6.09

Con todos estos datos calculamos el Índice Q_{TBM} (*Modificado*), con la expresión (2):

$$Q_{TBM} (\text{Modificado}) = \frac{RQD}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a} \times \frac{J_w}{SRF} \times \frac{SIGMA}{F} \times \frac{DMoh's}{5.11} \quad (2)$$

O simplificando queda:

$$Q_{TBM} (\text{Modificado}) = \text{Indice}Q \times \frac{\text{SIGMA}}{F} \times \frac{\text{DMoh}'s}{5.11} \quad (9)$$

A continuación se presenta en la tabla 4.9 la obtención del Índice Q_{TBM} (*Modificado*) para cada sitio de observación en superficie.

Tabla 4.9 Obtención del Índice Q_{TBM} (*Modificado*).

Sitio de Observación	Índice Q	Sigma (Mpa)	F (tf)	Dureza Moh's	QTBM (MOD)
1	7.20	22.09	15.15	5.03	10.33
3	14.00	36.59	17.47	4.57	26.21
4	9.00	31.58	16.67	4.57	15.24
5	6.17	27.84	16.07	4.57	9.56
6	23.80	43.59	18.59	4.85	52.96
8	11.50	34.21	17.09	4.85	21.84
9	4.46	24.95	15.61	4.85	6.76
10	11.11	31.09	16.59	4.85	19.75
12	1.52	13.79	13.83	5.18	1.54
14	0.70	10.65	13.32	5.18	0.57
15	13.83	28.79	16.23	5.18	24.87
16	1.60	13.66	13.81	5.18	1.61
18	3.37	17.51	14.42	5.18	4.15
19	12.50	27.11	15.96	5.18	21.53
21	12.50	34.86	17.20	6.09	30.20
22	16.67	38.37	17.76	6.09	42.92
23	18.52	39.74	17.98	6.09	48.79
2	0.26	5.65	12.52	5.03	0.12
7	0.83	8.20	12.93	4.85	0.50
11	0.96	8.54	12.99	4.85	0.60
13	0.04	3.08	12.11	5.18	0.01
17	0.39	6.37	12.64	5.18	0.20
20	0.69	7.71	12.85	5.18	0.42

Aplicando las expresiones (6) y (7), podemos obtener la velocidad de penetración (*VP*):

$$VP(\text{mm} / \text{rev}) = 8.55Q_{TBM} (\text{Mod})^{-0.0889} \quad (6)$$

$$VP(m/h) = VP(mm/rev) * RPM * \frac{60}{1000} \quad (7)$$

Tabla 4.10 Obtención de la Velocidad de penetración (VP) en función de Índice Q_{TBM} (Modificado) en base a la clasificación geomecánica de superficie.

Sitio de Observación	QTBM (MOD)	VP (mm/rev)	VP (m/h)	Tramo Geomecánico
1	10.33	6.95	2.59	1
3	26.21	6.40	2.39	2
4	15.24	6.71	2.50	
5	9.56	7.00	2.61	
6	52.96	6.01	2.24	3
8	21.84	6.50	2.43	
9	6.76	7.21	2.69	
10	19.75	6.56	2.45	
12	1.54	8.23	3.07	4
14	0.57	8.99	3.36	
15	24.87	6.43	2.40	
16	1.61	8.20	3.06	
18	4.15	7.53	2.81	
19	21.53	6.51	2.43	
21	30.20	6.32	2.36	5
22	42.92	6.12	2.28	
23	48.79	6.05	2.26	
2	0.12	10.36	3.87	6
7	0.50	9.09	3.39	
11	0.60	8.95	3.34	
13	0.01	12.84	4.79	
17	0.20	9.87	3.68	
20	0.42	9.24	3.45	

Como resultado del análisis realizado, se llegó a establecer una relación empírica que relaciona parámetros mecánicos de la máquina tuneladora (TBM) y las características geomecánicas del macizo rocoso, a través de un índice que se expresa de la siguiente manera:

$$Q_{TBM} (\text{Modificado}) = \text{Indice}Q \times \frac{\text{SIGMA}}{F} \times \frac{\text{DMoh's}}{5.11}$$

De los cálculos realizados con el índice Q_{TBM} (*Modificado*) se obtuvo velocidades de penetración (VP) muy variables dentro de cada una de las zonas geomecánicas, los rangos obtenidos se presentan a continuación:

Tabla 4.11 Pronósticos de Velocidad de Penetración por zonas geotécnicas

Zona Geomecánica	Pronóstico VP (m/h)
1	2.59
2	2.39 - 2.61
3	2.24 - 2.69
4	2.40 - 3.36
5	2.26 - 2.36
6	3.39 - 4.79

Las velocidades de penetración obtenidas para las zonas geomecánicas 1 a 5, servirán como referente de las posibles velocidades a obtener, en función de la anisotropía del macizo rocoso compuesto por rocas intrusivas y metamórficas.

Para la zona geotécnica 6 correspondiente a tramo de macizo fallado, teóricamente se advierte un aumento de la velocidad de penetración, que debe ser tomado en cuenta por los operadores de la máquina ya que involucra peligro de colapso por la abrupta perturbación del macizo.

CAPITULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- A lo largo del trazado del túnel de Conducción del Proyecto Hidroeléctrico San Francisco se determinó 6 unidades litológicas de rocas metamórficas y una unidad intrusiva pertenecientes a las Unidades Agoyán, Cuyuja, Cerro Hermoso y Granito de Azafrán de edades Paleozoicas. Estos son: esquistos cuarzo micáceos grafitosos desde la abscisa 0+000 a 0+737; esquistos negros y esquistos grafitosos desde la abscisa 0+737 a 1+370, esquistos y gneis cloríticos – sericíticos desde la abscisa 1+370 a 2+780; esquistos y gneis de plagioclasa, cuarzo y moscovita desde la abscisa 2+780 a 3+820; gneis y esquistos de cuarzo, feldespato y biotita desde la abscisa 3+820 a 7+030; gneis y esquistos cloríticos desde la abscisa 7+030 a 8+884 y granito orientado desde la abscisa 8+884 a 11+100.
- Se detectaron estructuras de primer orden determinadas como fallas transcurrentes afectando al macizo con direcciones preferenciales NNE – SSW y NE – SE, producto de esfuerzos compresivos E – W. Además las discontinuidades presentes en el macizo rocoso están representadas por foliación y diaclasas, con las siguientes características:

Foliación:

F1	N16°W / 78°SW	(78/254)
F2	N21°E / 83°SE	(83/111)
F3	N10°E / 76°NW	(76/280)
F4	N14°W / 79°NE	(79/076)

Diaclasas principales

J1	N81°E / 65°NW	(65/351)
J2	N86°E / 61°SE	(61/176)

Diaclasas aleatorias

J3	N80°W / 80°SW	(80/190)
J4	N46°E / 71°SE	(71/136)
J5	N75°E / 34°SE	(34/165)
J6	N53°W / 54°NE	(54/037)

- De acuerdo a las clasificaciones geomecánicas realizadas en los sitios de observación en superficie, se ha calificado al macizo rocoso de calidad Media a Buena utilizando el Índice RMR y de Muy Mala a Buena calidad con el Índice Q, sin tomar en cuenta los tramos de fallas, a lo largo del trazado del túnel.
- Los resultados obtenidos por los 2 sistemas de clasificación geomecánica muestran inconsistencias en tramos con cobertura vertical sobre el túnel, mayor a 200 m., esto se debe al parámetro de esfuerzos involucrado en el sistema Q, mientras que el índice RMR solo valora la resistencia a la compresión simple del macizo.
- Geomecánicamente se determinaron 6 zonas geotécnicas de características litológicas y propiedades físicas y mecánicas similares:
 - Zona 1: Tramo de esquistos cuarzo micáceos
 - Zona 2: Tramo de esquistos negros y esquistos grafitosos
 - Zona 3: Tramo de esquistos y gneis
 - Zona 4: Tramo de gneis y esquistos
 - Zona 5: Tramo de granito orientado
 - Zona 6: Tramo de macizo fallado
- De acuerdo al sistema Q, se determinó 5 clases de sostenimiento para el túnel de conducción en base al Diámetro Equivalente, que relaciona la dimensión del túnel con las medidas de seguridad.

- Clase I $Q > 12$
- Clase II $6 < Q < 12$
- Clase III $1.8 < Q < 6$
- Clase IV $0.4 < Q < 1.8$
- Clase V $Q < 0.4$

- Relacionando los parámetros mecánicos del TBM, y las características geomecánicas del macizo rocoso en 1950 m de excavación, entre las abscisas 7+454 – 9+404 a través del Índice Q_{TBM} (Modificado), fue posible desarrollar una expresión empírica que estima el desempeño del TBM expresado en velocidades de penetración instantáneas (mm/rev), estas relaciones pueden ser aplicadas para evaluar las velocidades de penetración en trabajos posteriores en el macizo rocoso:

$$Q_{TBM}(\text{Modificado}) = \text{Indice}Q \times \frac{SIGMA}{F} \times \frac{DMoh's}{5.11}$$

$$VP(\text{mm} / \text{rev}) = 8.55Q_{TBM}(\text{Mod})^{-0.0889}$$

- Aplicando la relación anterior, los rangos de velocidades de penetración obtenidos de los 23 sitios de observación para las zonas geotécnicas que se pueden perforar son:

Zona Geotécnica	Pronóstico VP (m/h)
I	2.59
II	2.39 - 2.61
III	2.24 - 2.69
IV	2.40 - 3.36
V	2.26 - 2.36
VI	3.39 - 4.79

Se debe tomar en cuenta que la variación de la velocidad de penetración, dentro de cada una de las zonas geotécnicas corresponde a la variación de las propiedades geomecánicas del macizo, por lo que estos valores obtenidos servirán como referente para evaluar el desempeño total del TBM. Además los valores obtenidos para la zona geomecánica 6: Tramo de macizo fallado, es donde se obtuvo las mayores valores de velocidad de penetración, debido al mayor fracturamiento y mala calidad de roca.

5.2 RECOMENDACIONES

- De acuerdo a los resultados obtenidos en la clasificación geomecánica en superficie por medio de sitios de observación, es necesario para trabajos futuros aumentar el número de sitios de clasificación en distancias sistemáticas no mayores a 100 m con el fin de manejar una información estadística y representativa. El mismo criterio se debería implementar en localización de sondeos, con el fin de saber las propiedades del macizo a nivel de la obra a realizarse.
- Utilizando el sistema de clasificación geomecánica Q, se recomienda 5 clases de sostenimientos para el túnel. Las cuales se describen a continuación:
-

Clase de Sostenimiento	Indice Q	Recomendaciones de Sostenimiento
I	$Q > 12$	Pernos esporádicos de $L = 2.6$ m
II	$6 < Q < 12$	Pernos sistemáticos espaciados 2 m $L = 2.6$ m
III	$1.8 < Q < 6$	Pernos sistemáticos espaciados 1.5 m $L = 2.6$ m, además de hormigón lanzado espesor 4-10 cm

IV	$0.4 < Q < 1.8$	Pernos sistemáticos espaciados 2.5 m L= 2.6 m, además de hormigón lanzado con fibra espesor 5-9 cm. Para excavación con TBM uso de Dovelas (anillos prefabricados)
V	$Q < 0.4$	Cerchas de acero espaciado 1.2 con hormigón lanzado con fibra espesor 15 cm. Excavación TBM uso de Dovelas (anillos prefabricados)

- Debido al análisis de esfuerzos realizado en el sistema de clasificación geomecánica Q a través del SRF (Factor de Reducción por esfuerzos), se recomienda utilizar el índice Q en ves del Índice RMR para la clasificación del macizo rocoso en túneles con coberturas mayores de 200 m .
- Se recomienda obtener el valor de la constante k (valor que normaliza la dureza Moh's dentro del Q_{TBM} (Modificado)), a partir de ensayos de laboratorio, ya que este valor representa un límite para aumentar o disminuir el Q_{TBM} (Modificado).
- También se recomienda para futuros proyectos realizar sistemáticamente durante la excavación de túneles ensayos de compresión simple, descripciones microscópicas y determinación de durezas, con el fin de establecer valores cuantitativos del macizo rocoso y así poder establecer nuevas relaciones entre características geomecánicas de los macizos y desempeños de TBM.

CAPITULO 6

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- A.F.T.E.S. (1999). Choosing Mechanized Tunnelling Techniques.
- ASPDEN J.A., LITHERLAND M., (1992). The geology and Mesozoic collisional history of the Cordillera Real, Ecuador: Tectonophysics, v. 205, p. 187 – 204.
- ASPDEN J. A., LITHERLAND M. AND SALAZAR E. (1988). Una Interpretación preliminar de la historia colisional del centro y sur del Ecuador y posibles controles para la geología cenozoica y de mineralizaciones polimetálicas, Monografía de Geología 6, Vol. XIII, EPN. pp. 49-74.
- BARTON N. (1974). Engineering Classification of rock mass for the design of túnel support. NGI Publication 106, Oslo. Rock mechanics 6: No.4, pp 189 – 236.
- BARTON N. (2000). TBM Tunnelling in Joint and Faulted Rock, Balkema Publisher, Netherlands, 172 p
- BARTON N. y GRIMSTAD E. (1994). The Q-System Following Twenty Years of Application in NMT Support Selection, in Felsbau 12 (6). pp. 428 - 436.
- BIENIAWSKI Z. (1989). Engineering Rock Mass Classifications. Wile, New York. pp. 41 – 49.
- BLINDHEIM O. (1972). Experience from full face boring in greenstone, Rock Blasting Conference, Oslo, pp. 43 – 51.

- BRULAND A., DAHLÖ T., NIELSEN B. (1997). Development of new miniature drillability tests for performance prediction. 4th Int. Symp. On Mine Mechanization and Automation, Brisbane, pp 59-66.
- BÜCHI E., (2000). Assesment of Rock Support Classes TBM Penetration Rates and Cutter Wear Rates, Hydropower Proyect San Francisco, Report 00B13-1, Ecuador, 19 p.
- CARLSSON A. y OLSSON T. (1977). Hydraulic Properties of Swedish Crystalline Rocks. Bulletin of the Geological Institutions of the University of Uppsala. N. S. pp. 71 – 84
- CARLSSON A. y OLSSON T. (1977). Water Leakage in the Forsmark Tunnel. Uppland, Sweden. pp. 1 – 47.
- CODIGEN – BGS, (1994). Mapa Geológico de la Cordillera Real.
- DUQUE P., (2000). Breve Léxico Estratigráfico del Ecuador, Sistema de Información Geológica y Minera, PRODEMİNCA, Ecuador, 75 p.
- EGUEZ A., ASPDEN J., (1993) The Mesozoic – Cenozoic evolution of the Ecuadorian Andes, Abstract of the Symposium on Andean Geodynamics, Oxford, pp 179 – 181.
- GAVILANES H., ANDRADE B. (2004). Introducción a la Ingeniería de Túneles. A.I.M.E., Quito, Ecuador. 340 p.
- GONZALEZ DE VALLEJO L., FERRER M., ORTUÑO L. y OTEO C. (2004). Ingeniería Geológica. PERSON EDUCACION, Madrid, 715 p.
- GRIFFON J., (2004). Análisis Estructural, Geomecánico e Hidrogeológico. Proyecto Hidroeléctrico San Francisco, Informe Técnico, 12 p.

- GRIFFON J., (2004). Túnel de Conducción: Revisión de las clases de soporte para Excavación TBM. Proyecto Hidroeléctrico San Francisco, Informe Técnico, 11 p.
- GRIMSTAD y BARTON, (1993) Updating The Q-System for NMT. On Sprayed Concrete – Modern use of wet Mix Sprayed concrete for underground support. Eds Kompen, Opshal & Berg. Oslo. Norwegian Concrete Assn. 30 p.
- IGEPN, (2000) Mapa de Peligros Potenciales del Volcán Tungurahua, escala 1:50000, Instituto Geográfico militar, Quito, Ecuador
- HALL M., BEATE B. (1991). El Volcanismo Plio-Cuaternario en los Andes del Ecuador, Estudios de Geografía, Instituto Geofísico, Escuela Politécnica Nacional. Pp. 5 – 12.
- HALL ET. AL., (1999). Tungurahua Volcano, Ecuador: structure, eruptive history and hazards. Journal of Volcanology and Geothermal Research 91, 21 p.
- HOEK E. y BROWN E. (1980). Underground Excavations in Rock. The Institutions of Mining and Metalurgy, London, 527 p.
- HOEK E. y BROWN E. (1997). Practical Estimates Rock Mass. International Journal of Rock Mechanics and Mining Science and Geomechanics Abstracts. Vol. 34, No.8.
- HOEK E. (1998). Rock Engineering. 175 p. <http://www.rockscience.com>
- INECEL (1994). Proyecto Hidroeléctrico Sopladora. Informe de Diseño. Anexo 2. Informe de Geología y Geotécnia. 73 p.

- INECEL (1989). Proyecto Hidroeléctrico San Francisco. Informe de Diseño. Geología – Geotecnia. 2 tomos.
- LITHERLAND M., ASPDEN J. y JEMIELITA R. (1994). The Metamorphic Belts of Ecuador. Overseas Memoir 11 Quito – Ecuador, 176 p.
- NILSEN B., OZDEMIR L., (1993). Hard Rock Tunnel Boring Prediction and Field Performance, Chapter 52, RETC conference proceeding, Boston, pp 833-852
- NORWEGIAN GEOTECHNICAL INSTITUTE N.G.I. (1997) Engineering Geology: Practical Use of Q-Method, Report, Oslo, 27 p.
- NORWEGIAN GEOTECHNICAL INSTITUTE N.G.I. (1998) Engineering Geology: Field mapping of rock masses, Report, Oslo, 49 p.
- PALMSTRÖM A. (1982). The volumetric joint count – a useful and simple measure of the degree of rock mass jointing. Proc. 4th IAEG Congress, New Delhi, V: Theme 2, pp 221 – 228.
- PENNINGTON W. (1981). Subduction of the Eastern Panama Basin and Sismotectonics of Northwestern South America. Journal of Geophysical Research. 86, pp. 10753-70.
- SAMANIEGO P., EISSEN J., LE PENNEC J., HALL M., (2003). Los Peligros Volcánicos asociados con el Volcán Tungurahua. Instituto Geofísico, Escuela Politécnica Nacional, Quito, 100 p.
- SOULAS J., EGUEZ A., YEPEZ H. & PEREZ H. (1991). Tectónica activa y Riesgo Sísmico de los Andes ecuatorianos en el extremo sur de Colombia. Boletín Geológico Ecuatoriano, Vol 2, No 1, 3-12.

- THURO K., PLINNINGER R., (2003). Hard rock tunnel boring, cutting, drilling and blasting: rock parameters for excavatability, ISRM, Technology roadmap for rock mechanics, South African Institute of Mining and Metallurgy, 7 p.

- UNIVERSITY OF TRONDHEIM, (1994). Hard Rock Tunnel Boring, Project Report 1-94, University of Trondheim, The Norwegian Institute of Technology, Trondheim, Norway.

ANEXO 1

DESCRIPCIONES PETROGRAFICAS

DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA

PROYECTO SAN FRANCISCO
MUESTRA No. MH-2, ZONA I

DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA

Color: Gris claro
Textura: Esquistosa.
Minerales: Cuarzo, feldespato, micas

DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA

Textura: Esquistosa

Composición:

35% Cuarzo: Xenoblastos incoloros, de baja birrefringencia. Uniáxico (+). Extinción ondulosa.

26% Plagioclasa: Cristales xenoblastos incoloros zonados y maclados con macla polisintética, biax (+) 2V 70°.

15% Micas: Cristales ideoblastos de color amarillo pálido con pleocroismo a verde oliva, alta birrefringencia, relieve positivo moderado, elongación largo-lento. Biax (-), 2V pequeño.

3% Grafito: Materia orgánica formando fibras, se encuentran diseminados.

10% Clorita: Finogranular junto a biotita.

7% Granate: Color rosáceo a luz natural, isotrópico

NOMBRE DE LA ROCA: ESQUISTO DE CUARZO-MICÁCEO GRAFITOSO

Realizado en: Facultad de Geología, Minas y Petróleos; Escuela Politécnica Nacional.

DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA

PROYECTO SAN FRANCISCO
MUESTRA No. MH-7, ZONA II

DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA

Color: Gris oscuro

Textura: Porfiroblástica.

Minerales: Grafito, micas, cuarzo

DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA

Textura: Porfiroblástica.

Composición:

10% Cuarzo: Xenoblastos incoloros de grano fino, de baja birrefringencia. Uniáxico (+).
Extinción ondulosa.

18% Micas: Cristales xenoblásticos heterogranulares, varían de afaníticos a grano medio.

57% Grafito: Materia orgánica formando fibras.

3% Plagioclasa: Cristales anhedrales de grano fino, incoloros zonados y maclados
con macla polisintética, biax (+) $2V$ 70° .

2% Calcita: Secundaria en vetillas.

NOMBRE DE LA ROCA: ESQUISTO GRAFÍTICO

Realizado en: Facultad de Geología, Minas y Petróleos; Escuela Politécnica Nacional.

DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA

PROYECTO SAN FRANCISCO
MUESTRA No. MH-9, ZONA III

DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA

Color: Gris medio brillante

Textura: Esquistosa, se observan bandeamientos con cuarzo, plagioclasa y micas

Minerales: Cuarzo, plagioclasa, micas.

DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA

Textura: Lepidoblástica.

Composición:

22% Cuarzo: Xenoblastos incoloros, de baja birrefringencia. Uniáxico (+). Extinción ondulosa.

11% Plagioclasa: Cristales anhedrales incoloros zonados y maclados con macla polisintética, biax (+) $2V$ 70° , Comp. An 25-30. Parcialmente alterados a sericita.

43% Micas: Fibrosas, se encuentran asociados al cuarzo, algunas alterandose a clorita

15% Clorita: Finogranular junto a biotita.

NOMBRE DE LA ROCA: ESQUISTO MICÁCEO

Realizado en: Facultad de Geología, Minas y Petróleos; Escuela Politécnica Nacional.

ANEXO 2

ORIENTACIONES DE DISCONTINUIDADES OBSERVADAS EN SUPERFICIE

No. Plano	Sitio de Observación	Tipo de Roca	Buzamiento	Azimut de Buzamiento	Tipo de Discontinuidad
1	1	Esquistos micáceos grafitosos	80	250	foliación
2			64	175	diacласa
3			47	45	diacласa
4			39	260	diacласa
5			75	112	foliación
6			77	255	foliación
7			73	345	diacласa
8			70	160	diacласa
9			65	33	diacласa
10			40	265	diacласa
11			72	109	foliación
12			68	350	diacласa
13			74	170	diacласa
14			74	167	diacласa
15			73	251	foliación
16			62	175	diacласa
17			81	107	foliación
18			66	338	diacласa
19			68	30	diacласa
20			69	340	diacласa
21	2	Esquistos cuarzo-micáceos	80	282	foliación
22			82	350	diacласa
23			60	72	diacласa
24			78	280	foliación
25			74	167	diacласa
26			66	355	diacласa
27			61	175	diacласa
28			72	247	diacласa
29			69	261	foliación
30			80	158	diacласa
31			73	345	diacласa
32			65	170	diacласa
33			65	45	diacласa
34			77	110	foliación
35			40	355	diacласa
36			76	345	diacласa
37			66	338	diacласa
38			68	30	diacласa
39			69	340	diacласa
40			78	115	foliación
41			67	15	diacласa
42			80	335	diacласa
43			60	170	diacласa
44			79	277	foliación
45			64	175	diacласa
46			47	45	diacласa
47			82	350	diacласa
48			28	90	diacласa
49			83	296	foliación
50			82	350	diacласa
51			60	72	diacласa
52			85	107	foliación
53			71	198	diacласa
54			70	340	diacласa

No. Plano	Sitio de Observación	Tipo de Roca	Buzamiento	Azimut de Buzamiento	Tipo de Discontinuidad
55	3	Esquistos cuarzo-micáceos grafitosos	80	280	foliación
56			82	355	diaclasa
57			25	330	diaclasa
58			80	282	foliación
59			59	168	diaclasa
60			60	358	diaclasa
61			42	163	diaclasa
62			87	297	foliación
63			61	178	diaclasa
64			30	170	diaclasa
65			86	111	foliación
66			67	181	diaclasa
67			79	353	diaclasa
68			35	165	diaclasa
69	81	359	diaclasa		
70	4	Esquistos cuarzo - micáceos grafitosos	85	110	foliación
71			75	355	diaclasa
72			60	170	diaclasa
73			80	283	foliación
74			67	181	diaclasa
75			79	353	diaclasa
76			35	165	diaclasa
77			83	295	foliación
78			42	155	diaclasa
79			29	92	diaclasa
80			60	73	diaclasa
81			72	195	diaclasa
82			85	100	foliación
83			78	349	diaclasa
84	59	168	diaclasa		
85	60	358	diaclasa		
86	83	111	foliación		
87	23	328	diaclasa		
88	31	167	diaclasa		
89	67	181	diaclasa		
90	5	Esquisto grafitoso	79	282	foliación
91			70	200	diaclasa
92			28	90	diaclasa
93			85	300	diaclasa
94			82	355	diaclasa
95			25	330	diaclasa
96			62	317	diaclasa
97			83	111	foliación
98			78	349	diaclasa
99			59	168	diaclasa
100			86	115	foliación
101			57	65	diaclasa
102			60	358	diaclasa
103			42	163	diaclasa
104	77	277	foliación		
105	79	346	diaclasa		
106	31	167	diaclasa		
107	67	181	diaclasa		
108	86	284	foliación		
109	35	90	diaclasa		

No. Plano	Sitio de Observación	Tipo de Roca	Buzamiento	Azimut de Buzamiento	Tipo de Discontinuidad
110	6	Esquisto de cuarzo - sericita - clorita	80	78	foliación
111			60	352	diaclasa
112			62	140	diaclasa
113			65	90	diaclasa
114			60	135	diaclasa
115			79	107	foliación
116			72	355	diaclasa
117			69	171	diaclasa
118			60	138	diaclasa
119			81	280	foliación
120			65	177	diaclasa
121			68	140	diaclasa
122			76	283	foliación
123			7	Esquisto gneisico de cuarzo - sericita - clorita	65
124	70	355			diaclasa
125	65	175			diaclasa
126	65	85			foliación
127	60	352			diaclasa
128	62	140			diaclasa
129	82	107			foliación
130	62	325			diaclasa
131	70	181			diaclasa
132	59	141			diaclasa
133	82	262			foliación
134	72	355			diaclasa
135	69	171	diaclasa		
136	8	Gneis esquistoso de cuarzo - plagioclasa	80	108	foliación
137			70	352	diaclasa
138			80	170	diaclasa
139			65	334	diaclasa
140			65	90	diaclasa
141			60	135	diaclasa
142			79	107	foliación
143			72	355	diaclasa
144			69	171	diaclasa
145			61	231	diaclasa
146			78	81	foliación
147			64	178	diaclasa
148			54	23	diaclasa
149	9	Gneis esquistoso de cuarzo - plagioclasa - sericita	85	245	foliación
150			69	350	diaclasa
151			58	190	diaclasa
152			62	325	diaclasa
153			65	177	diaclasa
154			79	281	foliación
155			72	355	diaclasa
156			57	349	diaclasa
157			54	23	diaclasa
158			65	141	diaclasa
159			58	190	diaclasa
160			81	278	foliación
161			62	137	diaclasa
162			65	334	diaclasa
163			58	135	diaclasa

No. Plano	Sitio de Observación	Tipo de Roca	Buzamiento	Azimut de Buzamiento	Tipo de Discontinuidad
164	10	Esquistos cuarzo - plagioclasa y micas	79	78	foliación
165			66	350	diaclasa
166			55	180	diaclasa
167			45	335	diaclasa
168			53	99	diaclasa
169			56	194	diaclasa
170			55	173	diaclasa
171			83	81	foliación
172			44	335	diaclasa
173			35	174	diaclasa
174			88	84	foliación
175			75	135	diaclasa
176			82	244	foliación
177			45	335	diaclasa
178			62	324	diaclasa
179			57	231	diaclasa
180			31	170	diaclasa
181			85	86	foliación
182			64	186	diaclasa
183			61	326	diaclasa
184	11	Gneis de cuarzo - feldespato - biotita - clorita	88	84	foliación
185			35	174	diaclasa
186			44	335	diaclasa
187			82	244	foliación
188			75	135	diaclasa
189			35	174	diaclasa
190			44	335	diaclasa
191			61	326	diaclasa
192			64	186	diaclasa
193			85	86	foliación
194			31	170	diaclasa
195			57	231	diaclasa
196			79	78	foliación
197	66	350	diaclasa		
198	55	180	diaclasa		
199	45	335	diaclasa		
200	62	324	diaclasa		
201	82	244	foliación		
202	44	335	diaclasa		
203	51	181	diaclasa		
204	31	312	diaclasa		
205	75	135	diaclasa		
206	78	78	foliación		

No. Plano	Sitio de Observación	Tipo de Roca	Buzamiento	Azimut de Buzamiento	Tipo de Discontinuidad
207	12	Gneis de plagioclasa - cuarzo - mica	80	255	foliación
208			65	340	diaclasa
209			35	160	diaclasa
210			39	321	diaclasa
211			77	254	diaclasa
212			65	181	diaclasa
213			35	161	diaclasa
214			81	270	foliación
215			67	345	diaclasa
216			35	161	diaclasa
217			87	88	foliación
218			65	179	diaclasa
219			79	134	diaclasa
220			85	270	foliación
221	76	268	foliación		
222	42	167	diaclasa		
223	13	Esquistos de plagioclasa - cuarzo - micas	80	255	foliación
224			65	350	diaclasa
225			35	160	diaclasa
226			77	254	diaclasa
227			39	321	diaclasa
228			35	160	diaclasa
229			65	340	diaclasa
230			80	255	foliación
231			85	350	diaclasa
232			85	30	diaclasa
233			40	325	diaclasa
234			83	260	foliación
235			65	183	diaclasa
236			40	323	diaclasa
237	74	132	diaclasa		
238	70	274	foliación		
239	14	Gneis de cuarzo - feldespato - micas y anfíbol	85	270	foliación
240			60	350	diaclasa
241			65	179	diaclasa
242			75	135	diaclasa
243			74	133	diaclasa
244			66	180	diaclasa
245			77	255	foliación
246			65	320	diaclasa
247			78	245	diaclasa
248			85	188	diaclasa
249			30	205	diaclasa
250			86	94	foliación
251			48	196	diaclasa
252			34	161	diaclasa
253	81	254	foliación		
254	85	30	diaclasa		

No. Plano	Sitio de Observación	Tipo de Roca	Buzamiento	Azimut de Buzamiento	Tipo de Discontinuidad
255	15	Granodiorita	75	255	foliación
256			85	350	diaclasa
257			85	30	diaclasa
258			40	325	diaclasa
259			67	268	foliación
260			85	188	diaclasa
261			30	205	diaclasa
262			82	112	diaclasa
263			65	179	diaclasa
264			79	134	diaclasa
265			85	270	foliación
266			67	342	diaclasa
267			55	187	diaclasa
268			82	30	diaclasa
269			83	349	diaclasa
270			67	257	foliación
271			74	133	diaclasa
272			66	180	diaclasa
273			25	36	diaclasa
274			16	Gneis de cuarzo azul - plagioclasa - biotita - anfíbol	74
275	55	205			diaclasa
276	65	320			diaclasa
277	78	245			diaclasa
278	67	147			diaclasa
279	70	278			foliación
280	76	20			diaclasa
281	54	206			diaclasa
282	84	109			foliación
283	70	140			diaclasa
284	17	Gneis de cuarzo - biotita - clorita	78	70	foliación
285			72	135	diaclasa
286			65	175	diaclasa
287			72	40	diaclasa
288			74	285	foliación
289			74	14	diaclasa
290			66	179	diaclasa
291			66	40	diaclasa
292	18	Gneis de cuarzo - biotita - clorita	70	270	foliación
293			75	20	diaclasa
294			70	150	diaclasa
295			82	112	diaclasa
296			30	205	diaclasa
297			85	188	diaclasa
298			67	268	foliación
299			65	290	foliación
300			52	347	diaclasa
301			65	39	diaclasa
302	70	140	diaclasa		

No. Plano	Sitio de Observación	Tipo de Roca	Buzamiento	Azimut de Buzamiento	Tipo de Discontinuidad		
303	19	Esquisto gneisico de cuarzo - biotita - clorita	68	278	foliación		
304			58	35	diacласa		
305			75	10	diacласa		
306			80	255	foliación		
307			80	195	diacласa		
308			55	340	diacласa		
309			71	275	foliación		
310			72	20	diacласa		
311			20	Gneis intercalado con esquistos cloríticos	67	268	foliación
312					85	188	diacласa
313	30	205			diacласa		
314	82	112			diacласa		
315	70	270			foliación		
316	75	20			diacласa		
317	70	150			diacласa		
318	82	112			diacласa		
319	21	Gneis de cuarzo y biotita	86	115	foliación		
320			74	160	diacласa		
321			62	330	diacласa		
322			65	340	diacласa		
323			86	111	foliación		
324			80	199	diacласa		
325			63	342	diacласa		
326			72	163	diacласa		
327			80	255	foliación		
328			80	195	diacласa		
329			55	340	diacласa		
330			79	287	foliación		
331			66	179	diacласa		
332			66	40	diacласa		
333			76	275	foliación		
334	80	195	diacласa				
335	22	Granito con ligera orientación de biotita	65	290	foliación		
336			52	347	diacласa		
337			44	145	diacласa		
338			80	193	diacласa		
339			86	115	foliación		
340			74	160	diacласa		
341			62	330	diacласa		
342			65	340	diacласa		
343			65	290	foliación		
344			52	347	diacласa		
345			44	145	diacласa		
346			80	193	diacласa		
347			80	255	foliación		
348			80	195	diacласa		
349	23	Granito	80	255	foliación		
350			80	195	diacласa		
351			55	340	diacласa		
352			80	193	diacласa		
353			80	290	foliación		
354			78	287	foliación		
355			65	175	diacласa		
356			72	40	diacласa		
357			74	285	foliación		
358			40	325	diacласa		
359			67	268	foliación		
360			85	188	diacласa		
361			30	205	diacласa		
362			42	148	diacласa		
363			79	193	diacласa		
364			65	160	diacласa		
365			58	337	diacласa		
366			75	285	foliación		
367	65	340	diacласa				

ANEXO 3

ENSAYOS DE PERMEABILIDAD LUGEON Y CALCULO DE INFILTRACIONES

TABLA 3.1 Ensayos de Permeabilidad Lugeon en el Sondeo SCI-1

Sondeo: SCI-1 **Ubicación** 9845716
Sector: Cámara de Interconexión 794103
Unidad Litológica: I **Cota** 1605.74
Prof: 135 m
NF: seco

Profundidad		U.L.	K (m/s)
21	24.5	2.5	2.84E-07
26	29.8	9.3	1.07E-06
35.2	38.8	49.61	5.68E-06
44	48.2	18.3	2.17E-06
62.5	66	8.56	1.03E-06
72	76	1.37	1.77E-07
76.5	79.3	2.34	2.68E-07
79.9	84.5	3.41	4.35E-07
86	90	13.55	1.70E-06
95.5	99.7	12.28	1.54E-06
99.9	104.4	5.5	6.97E-07
104.8	109	18.2	2.27E-06
116.9	120.9	18.2	2.25E-06
122	127.2	13.9	1.81E-06
127.5	131.45	20.39	2.51E-06
131	135	15.91	1.92E-06
Promedio de Permeabilidad			1.61E-06

TABLA 3.2 Ensayos de Permeabilidad Lugeon en el Sondeo RB-1A

Sondeo: RB-1A **Ubicación** 9845917
Sector: Río Blanco 795159
Unidad Litológica: II **Cota** 1592.9
 Prof: 130 m
 NF: 6.26 m

Profundidad		U.L.	K (m/s)
49.1	52	25.2	2.86E-06
53	56	26.71	3.03E-06
55.3	59.1	30.48	3.68E-06
59	63.6	0.46	5.75E-08
69	72.5	33.1	3.92E-06
73	76.7	37.27	4.44E-06
78	81.2	54	6.24E-06
81	86	19.48	2.52E-06
86.5	91	20.17	2.52E-06
91.1	95	25.21	3.06E-06
95	100	17.39	2.18E-06
100.75	105	58.38	7.21E-06
106	110	35.84	4.33E-06
110	114.2	28.44	3.51E-06
115.15	120	20.95	2.66E-06
120.75	125	19.76	2.44E-06
125.75	130	26.73	6.50E-07
Promedio de Permeabilidad			3.25E-06

Para el cálculo de infiltraciones se utilizará la fórmula empírica propuesta por Freeze y Cherry, 1979

$$Q = \frac{2 \cdot \pi \cdot K \cdot H \cdot L}{2.3 \cdot \log\left(\frac{2 \cdot H}{R}\right)}$$

- Q = Filtración Total (m3/s)
- K = Permeabilidad del macizo rocoso (m/s)
- H = Profundidad bajo el nivel freático (m)
- L = Longitud del túnel (o del tramo analizado) (m)
- R = Radio del túnel (m)

Tabla 3.3 Cálculo de Infiltración Instantánea para la Unidad Geológica II - Zona Geotécnica II

K (m/s)	H (m)	L (m)	R (m)	Q (m3/s)	Q (l/s)	Q (l/min/m)
3.25E-06	104.9	105	3.5	5.50E-02	55.01	31.43

TABLA 3.4 Ensayos de Permeabilidad Lugeon en el Sondeo PT-102

Sondeo: PT-102 **Ubicación** 9845717
Sector: Q. Antumbas 797128
Unidad Litológica: IV **Cota** 1690
 NF: 0 m

Cotas		U.L.	K (m/s)
1404.4	1396.7	5.0	5.00E-07
1392.9	1389.1	6.8	6.80E-07
Promedio de Permeabilidad			5.90E-07

Para el cálculo de infiltraciones se utilizará la fórmula empírica propuesta por Freeze y Cherry, 1979

$$Q = \frac{2 \cdot \pi \cdot K \cdot H \cdot L}{2.3 \cdot \log\left(\frac{2 \cdot H}{R}\right)}$$

- Q = Filtración Total (m³/s)
- K = Permeabilidad del macizo rocoso (m/s)
- H = Profundidad bajo el nivel freático (m)
- L = Longitud del túnel (o del tramo analizado) (m)
- R = Radio del túnel (m)

Tabla 3.5 Cálculo de Infiltración Instantánea para la Unidad Geológica IV - Zona Geotécnica III

K (m/s)	H (m)	L (m)	R (m)	Q (m ³ /s)	Q (l/s)	Q (l/min/m)
5.90E-07	218.5	80	3.5	1.34E-02	13.44	10.08

TABLA 3.6 Ensayos de Permeabilidad Lugeon en el Sondeo SRV-2A

Sondeo: SVR-2A **Ubicación** 9846081.8
Sector: Río Verde 800364.9
Unidad Litológica: V **Cota** 1526.61
Prof: 76 m
NF: 3.6 m

Profundidad		U.L.	K (m/s)
33	36	2.85	3.31E-07
37	40	3.47	4.03E-07
43	46	7.68	8.91E-07
46	49	2.24	2.60E-07
49	52	2.73	3.16E-07
52	55	32.66	3.79E-06
48	64	17.01	2.73E-06
58	62	20.88	2.58E-06
64	71	8.05	1.11E-06
Promedio de Permeabilidad			1.38E-06

TABLA 3.7 Ensayos de Permeabilidad Lugeon en el Sondeo SRV-3A

Sondeo: SVR-3A **Ubicación** 9846082
Sector: Río Verde 800448
Unidad Litológica: V **Cota** 1552.68
Prof: 115 m
NF: 3.6 m

Profundidad		U.L.	K (m/s)
69	75.25	12.09	1.53E-06
74.2	80	1.45	1.81E-07
80	85	0.93	1.13E-07
87	92	4.12	4.98E-07
92	98	0.71	8.99E-08
99	105	7.48	9.28E-07
105	110	14.95	1.81E-06
110	115	7.19	8.71E-07
Promedio de Permeabilidad			7.53E-07

Para el cálculo de infiltraciones se utilizará la fórmula empírica propuesta por Freeze y Cherry, 1979

$$Q = \frac{2 * \pi * K * H * L}{2.3 * \text{Log} \left(\frac{2 * H}{R} \right)}$$

- Q = Filtración Total (m3/s)
- K = Permeabilidad del macizo rocoso (m/s)
- H = Profundidad bajo el nivel freático (m)
- L = Longitud del túnel (o del tramo analizado) (m)
- R = Radio del túnel (m)

Tabla 3.8 Cálculo de Infiltración Instantánea para la Unidad Litológica V

Sondeo	K (m/s)	H (m)	L (m)	R (m)	Q (m3/s)	Q (l/s)	Q (l/min/m)
SVR-2A	1.38E-06	57.75	88	3.5	1.26E-02	12.62	8.60
SVR-3A	7.53E-07	83.83	88	3.5	9.03E-03	9.03	6.16

TABLA 3.9 Ensayos de Permeabilidad Lugeon en el Sondeo PT-141-D

Sondeo: PT-141-D **Ubicación**
Sector: Río Machay
Unidad Litológica: VI **Cota** 1547.7
Prof: 104 m
NF: 6.26 m

Profundidad		U.L.	K (m/s)
27.3	30.2	2.21	2.56E-07
30.8	33.4	0.78	8.76E-08
33.5	36.3	4.46	5.17E-07
36.5	39.3	4.32	5.01E-07
39.9	44	1.38	1.73E-07
44.5	48	0.68	8.20E-08
48.5	51.9	0.5	5.99E-08
52.2	55.4	0.85	9.97E-08
55.9	59	0.49	5.75E-08
59	62	0.51	5.90E-07
62.5	67	0.74	9.44E-07
66.9	70.5	7.44	9.00E-07
70.6	74	7.44	1.02E-07
74.2	79	1.31	1.68E-07
79.5	84	2.28	2.88E-07
84.5	88	0.67	8.06E-08
88.5	92	0.54	6.50E-07
92.5	96	0.49	5.90E-07
96.5	99.5	15.93	1.81E-06
100	104	9.63	1.20E-06
Promedio de Permeabilidad			4.58E-07

Para el cálculo de infiltraciones se utilizará la fórmula empírica propuesta por Freeze y Cherry, 1979

$$Q = \frac{2 * \pi * K * H * L}{2.3 * \log\left(\frac{2 * H}{R}\right)}$$

- Q = Filtración Total (m3/s)
- K = Permeabilidad del macizo rocoso (m/s)
- H = Profundidad bajo el nivel freático (m)
- L = Longitud del túnel (o del tramo analizado) (m)
- R = Radio del túnel (m)

Tabla 3.10 Cálculo de Infiltración Instantánea para la Unidad Litológica VI

Sondeo	K (m/s)	H (m)	L (m)	R (m)	Q (m3/s)	Q (l/s)	Q (l/min/m)
PT-141-D	4.58E-07	88	94	3.5	6.08E-03	6.08	3.88

Tabla 3.11 Promedio de Infiltración Instantánea para la Zona Geotécnica IV

Sondeo	K (m/s)	H (m)	L (m)	R (m)	Q (m3/s)	Q (l/s)	Q (l/min/m)
SVR-2A	1.38E-06	57.75	88	3.5	1.26E-02	12.62	8.60
SVR-3A	7.53E-07	83.83	88	3.5	9.03E-03	9.03	6.16
PT-141-D	4.58E-07	88	94	3.5	6.08E-03	6.08	3.88
Promedio	8.64E-07	-	-	-	9.24E-03	9.24	6.21

TABLA 3.12 Ensayos de Permeabilidad Lugeon en el Sondeo PT-141-D

Sondeo: SPH-128 **Ubicación** 9844515
Sector: 804835
Unidad Litológica: VII Cota 1550
 NF: 27,73 m

Cotas	U.L.	K (m/s)
80% del sondeo	5.0	5.00E-07
Promedio de Permeabilidad		5.00E-07

Para el cálculo de infiltraciones se utilizó la fórmula empírica propuesta por Freeze y Cherry, 1979

$$Q = \frac{2 * \Pi * K * H * L}{2.3 * \text{Log} \left(\frac{2 * H}{R} \right)}$$

- Q = Filtración Total (m3/s)
- K = Permeabilidad del macizo rocoso (m/s)
- H = Profundidad bajo el nivel freático (m)
- L = Longitud del túnel (o del tramo analizado) (m)
- R = Radio del túnel (m)

Tabla 3.13 Cálculo de Infiltración Instantánea para la Unidad Litológica VII - Zona Geotécnica V

K (m/s)	H (m)	L (m)	R (m)	Q (m3/s)	Q (l/s)	Q (l/min/m)
5.00E-07	72.27	2215	3.5	1.35E-01	135.31	3.67

ANEXO 4
INDICE RMR

A. Parámetros de clasificación con sus valores									
Parámetros			Rango de Valores						
1	Resistencia de la roca intacta	Índice de Resistencia de Carga Puntual (Is)	> 10 MPa	4 - 10 MPa	2 - 4 MPa	1 - 2 MPa	Para estos rangos es recomendable ensayos de resistencia a la compresión uniaxial		
		Resistencia a la compresión uniaxial	> 250 MPa	100 - 250 MPa	50 - 100 MPa	25 - 50 MPa	5 - 25 MPa	1 - 5 MPa	<1 MPa
Puntaje			15	12	7	4	2	1	0
2	RQD (%)		90 - 100	75 - 90	50 - 75	25 - 50	< 25		
	Puntaje		20	17	13	8	3		
3	Espaciado de las discontinuidades		> 2 m	0,6 - 2 m	200 - 600 mm	60 - 200 mm	< 60 mm		
	Puntaje		20	15	10	8	5		
4	Condición de las discontinuidades (ver E)		Superficies muy rugosas, sin continuidad, sin separación, paredes de rocas sin alteración.	Superficies rugosas, con separación < 1mm. Paredes de roca ligeramente meteorizadas.	Superficies ligeramente rugosas, con separación < 1mm. Paredes altamente meteorizadas.	Superficies pulidas o relleno < 5 mm de espesura o separación 1-5 mm. Continuas.	Relleno blando > 5 mm de espesor Separación > 5 mm. Continuas.		
	Puntaje		30	25	20	10	0		
5	Agua Subterránea	Flujo por cada 10 m de longitud del túnel (l/min).	Ninguno	< 10	10 - 25	25 - 125	> 125		
		(Presión de agua en la diaci.)/(Tensión principal mayor σ_1)	0	<0,1	0,1 - 0,2	0,2 - 0,5	> 0,5		
	Condiciones Generales		Completamente seco	Húmedo	Mojado	Goteo	Flujo		
	Puntaje		15	10	7	4	0		
B. Ajuste la orientación de las discontinuidades									
Orientaciones del rumbo y buzamiento.			Muy favorable	Favorable	Regular	Desfavorable	Muy desfavorable		
Puntaje	Túneles y Minas		0	-2	-5	-10	-12		
	Cimentaciones		0	-2	-7	-15	-25		
	Taludes		0	-5	-25	-50	-60		
C. Tipos de macizos rocosos determinados a partir de la evaluación total									
Puntaje			100-81	80-61	60-41	40-21	<21		
Tipos de Roca			I	II	III	IV	V		
Descripción			Muy buena	Buena	Regular	Mala	Muy mala		
D. Significado de los tipos de roca									
Tipo de Roca			I	II	III	IV	V		
Tiempo medio de sostén			20 años, claro de 15 m	1 año, claro de 10 m.	1 semana, claro de 5 m	10 horas, claro de 2,5 m	30 min, claro de 1 m		
Cohesión del macizo rocoso (kPa)			> 400	300 - 400	200 - 300	100 - 200	< 100		
Angulo de fricción del macizo rocoso (°)			> 45	35 - 45	25 - 35	15 - 25	< 15		
E. Guías para la clasificación según las condiciones de las discontinuidades									
Longitud (Persistencia)			< 1 m	1 - 3 m	3 - 10 m	10 - 20 m	> 20 m		
Puntaje			6	4	2	1	0		
Separación (apertura)			Ninguna	< 0,1 mm	0,1 - 1,0 mm	1 - 5 mm	> 5 mm		
Puntaje			6	5	4	1	0		
Rugosidad			Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Lisa	Superficies pulidas		
Puntaje			6	5	3	1	0		
Relleno			Ninguno	Duro < 5 mm	Duro > 5 mm	Blando < 5 mm	Blando > 5 mm		
Puntaje			6	4	2	2	0		
Meteorización			Inalterada	Ligeramente meteorizada	Modernamente meteorizada	Altamente meteorizada	Descompuesta		
Puntaje			6	5	3	1	0		
F. Efecto de la orientación del rumbo y buzamiento de las discontinuidades en los túneles**									
Rumbo perpendicular al eje del túnel				Rumbo paralelo al eje del túnel					
Avance en el sentido del buzamiento - Buz. 45 - 90°		Avance en el sentido del buzamiento - Buz. 20 - 45°		Buzamiento 45 - 90°		Buzamiento 20 - 45°			
Muy favorable		Favorable		Muy desfavorable		Regular			
Avance contra el sentido del buzamiento - Buz. 45 - 90°		Avance contra el sentido del buzamiento - Buz. 20 - 45°		Buzamiento 0 - 20° Independiente del rumbo					
Regular		Desfavorable		Regular					

Tabla 4.1 Clasificación geomecánica RMR (Bieniawski, 1989)

A continuación se presenta la tabla de calidad de macizos rocosos en relación al Índice RMR, relacionado con algunas características geomecánica.

Clase	Calidad	Valoración RMR	Cohesión	Fricción
I	Muy buena	100 – 81	$> 4 \text{ Kg/cm}^2$	$> 45^\circ$
II	Buena	80 – 61	$3 - 4 \text{ Kg/cm}^2$	$35^\circ - 45^\circ$
III	Media	60 – 41	$2 - 3 \text{ Kg/cm}^2$	$25^\circ - 35^\circ$
IV	Mala	40 – 21	$1 - 2 \text{ Kg/cm}^2$	$15^\circ - 25^\circ$
V	Muy mala	< 20	$< 1 \text{ Kg/cm}^2$	$< 15^\circ$

Tabla 4.2 Calidad de Macizos Rocosos en relación al índice RMR

ANEXO 5

INDICE Q

El valor Q da una buena descripción de la estabilidad de un macizo rocoso, de tal manera que valores altos indican buena estabilidad y valores bajos indican pobre estabilidad. Basado en 6 parámetros el valor Q es calculado usando la siguiente fórmula:

$$Q = \frac{RQD}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a} \times \frac{J_w}{SRF}$$

Los seis parámetros son:

- RQD = Índice de Calidad de la Roca
- J_n = Número de familias de discontinuidades
- J_r = Rugosidad de las discontinuidades.
- J_a = Meteorización de las discontinuidades
- J_w = Coeficiente de reducción debido a la presencia de agua
- SRF = Factor de reducción debido a los esfuerzos.

Los parámetros individuales son determinados durante el mapeo geológico usando cuadros que dan un valor numérico el cual es asignado por medio de un método descriptivo. Dispuestos en pares, los 6 parámetros expresan los tres principales factores que deciden la estabilidad en una obra subterránea.

- $\frac{RQD}{J_n}$ = Grado de diaclasamiento (Tamaño de los bloques)
- $\frac{J_r}{J_a}$ = Fricción de las diaclasas (Resistencia al corte entre bloques).
- $\frac{J_w}{SRF}$ = Esfuerzo activo.

RQD (Designación de Calidad de Roca)

La suma de las longitudes (entre diaclasas naturales) de todos los pedazos del testigo mayores que 10 cm. de largo, expresado como un porcentaje de la longitud del testigo total.

RQD (Designación de Calidad de Roca)		
A	Muy Pobre	(>27 diaclasas por m ³)
B	Pobre	(20-27 diaclasas por m ³)
C	Regular	(13-19 diaclasas por m ³)
D	Buena	(8-12 diaclasas por m ³)
E	Excelente	(0-7 diaclasas por m ³)
Nota: 1) Donde RQD es reportado o medido como ≤ 10 (incluyendo 0) se usa el valor de 10 para evaluar el valor de Q. 2) Intervalos de RQD de 5, por ejemplo 100, 95, 90, etc., son suficientemente exactos.		

Tabla 5.1 Valoración del RQD para el cálculo del índice Q.

Cuando no se tiene testigos de perforación, el valor de Q también puede ser calculado en base al número de diaclasas por m³. La siguiente fórmula puede ser usada (Palmström, 1982):

$$RQD = 115 - 3.3 J_v$$

Donde J_v es el número de diaclasas por m³.

J_n (Número de familias de juntas)

La forma y tamaño de los bloques en una masa de roca depende de la geometría de las fracturas.

	Número de Familias de Diaclasas	J_n
A	Masiva, pocas o sin juntas	0.5-1.0
B	Una familia de juntas	2
C	Una familia de juntas mas una aleatoria	3
D	Dos familias de juntas	4
E	Dos familias de juntas mas una aleatoria	6
F	Tres familias de juntas	9
G	Tres familias de juntas mas una aleatoria	12
H	Cuatro o más familias de juntas, aleatorias muy fracturado, poliedros irregulares	15
J	Roca triturado como suelo	20
Nota:		
1) Para intersecciones use 3 x J _r		
2) Para portales, use 2 x J _r		

Tabla 5.2 Valoración del número de familias (J_n) para el cálculo del índice Q.

Una familia de juntas es definida aquí como juntas paralelas que ocurren sistemáticamente con un espaciamiento característico. Juntas aleatorias son juntas que no ocurren sistemáticamente y generalmente no interviene en la formación de bloques. Cuando el espaciamiento entre las juntas es de algunos metros puede también ser considerada como aleatoria si estas no son de importancia para la estabilidad

J_r (Índice de rugosidad de las juntas)

La fricción de las juntas es dependiente del carácter de las paredes de las juntas, si estas son ondulares, planares, irregulares o lisas. El índice de rugosidad de las juntas describe estas condiciones.

	Índice de Rugosidad de Juntas	J_r
a) <i>Contacto entre las paredes, y</i>		
b) <i>Contacto entre las paredes de la roca antes de un cizallamiento de 10 cm.</i>		
A	Juntas discontinuas	4
B	Rugosa o irregular, ondulada	3

C	Suave, ondulada	2
D	Plano de fricción ondulada	1.5
E	Rugosa, irregular, plana	1.5
F	Lisas y planas	1
G	Plano de fricción plana	0.5
Nota: La descripción se refiere a rasgos de escala pequeña y escala intermedia, en ese orden		
c) Sin contacto entre paredes de roca después de un cizallamiento		
H	Zona que contiene minerales arcillosos de suficiente espesor para impedir el contacto de paredes	1
J	Zona arenosa, de grava o de roca triturada de suficiente espesor para impedir el contacto entre paredes	1
Nota:		
1) Agregar 1 si el espaciamiento principal de la familia de juntas relevante es mayor que 3 m.		
2) $J_r = 0.5$ puede ser usado para superficies con planos de fricción que tengan lineaciones, tomando en cuenta que la lineación está orientado en la dirección de deslizamiento estimada.		

Tabla 5.3 Valoración del índice de rugosidad de las juntas (J_r) para el cálculo del índice Q

Ja (Índice de alteración de juntas)

En adición a la rugosidad de las juntas el relleno de la junta será considerado para la fricción de las juntas. Cuando se considera el relleno, dos cosas son importantes: su espesor y su composición mineral. Para la determinación del índice de alteración de las juntas rellenas se ha dividido en tres categorías basados en sus espesores:

- Contacto entre las paredes de roca
- Contacto entre las paredes antes de un cizallamiento de 10 cm.
- Sin contacto entre las paredes durante la deformación con cizalla

Índice de Alteración de Juntas		Φ_r aprox.	Ja
a) Contacto entre las paredes de la roca			
A	Relleno soldado, duro, inablandable, relleno impermeable (ej. Cuarzo, epidota)		0.75
B	Paredes de las juntas inalteradas solo con manchas en superficie.	25-35°	1
C	Paredes ligeramente alteradas, con recubrimiento de minerales inablandables, partículas arenosas, roca triturada sin arcilla, etc.	25-30°	2
D	Recubrimientos limosos o areno-arcillosos, pequeñas fracciones de arcilla (inablandable)	20-25°	3
E	Recubrimientos blandos de baja fracción o con arcillas (ej. caolinita o mica, clorita, talco, yeso, grafito, etc., y pequeñas cantidades de arcillas expansivas)	8-16°	4
b) Contacto en las paredes antes de un cizallamiento de 10 cm (delgado relleno de mineral)			
F	Partículas arenosas, roca desintegrada sin arcilla, etc.	25-30°	4
G	Rellenos de minerales arcillosos muy consolidados e inablandables (cont. más fino que 5 mm. de espesor)	16-24	6
H	Rellenos de minerales arcillosos de consolidación media o baja, ablandables (cont. < 5 mm. de espesor)	12-16°	8
J	Rellenos de arcillas expansivas, montmorillonita (cont. < 5 mm. de espesor). El valor de J_a depende del porcentaje de arcilla expansiva.	6-12°	8-12
c) Sin contacto entre las paredes de roca después del cizallamiento (relleno mineral potente)			

K	Zonas o bandas de roca desintegrada o triturada. Fuerte sobreconsolidación.	6-24°	6
L	Zonas o bandas de arcilla, roca desintegrada o triturada. Baja a media sobre-consolidación o relleno suave.	12-16°	8
M	Zonas o bandas de arcilla, roca desintegrada o triturada Arcilla expansiva. J_a depende del porcentaje arcilla expansiva	6-12°	8-12
N	Zonas de bandas de arcilla con espesor continuo. Fuertemente sobre-consolidada	6-12°	10
O	Zonas de bandas de arcilla con espesor continuo. Baja a media sobre-consolidación.	16-24°	13
P	Zonas de bandas de arcilla con espesor continuo. Arcilla expansiva. J_a depende del porcentaje de las partículas de arcilla.	12-16°	13-20

Tabla 5.4 Valoración del índice de alteración de las juntas (J_a) para el cálculo del índice Q

J_w (Factor de reducción por presencia de agua en las juntas)

El agua en las juntas o diaclasas puede suavizar al mineral de relleno y por ende reducir la fricción; eventualmente el relleno puede ser lavado. El agua a presión reduciría la fuerza normal sobre las paredes de las juntas, esto haría que los bloques puedan cizallarse más fácilmente. Para determinar el factor de reducción por la presencia de agua se considera la infiltración de agua dentro del túnel como se indica a continuación.

Factor de reducción por presencia de agua en las juntas		J_w
A	Excavación seca o con poca infiltración, o sea < 5l/min. localmente (húmedo o pocas goteras)	1.0
B	Infiltración o presión media con lavado ocasional de los rellenos (muchas goteras)	0.66
C	Gran infiltración o alta presión en roca competente con diaclasas sin relleno	0.5
D	Gran infiltración o alta presión, lavado importante de los rellenos	0.33
E	Infiltración o excepcionalmente alta presión con las voladuras, disminuyendo con el tiempo	0.2-0.1
F	Infiltración o excepcionalmente alta presión en todo momento sin notable decaimiento.	0.1-0.05
Nota: 1) Los factores C y F son crudamente estimados. J_w aumenta si las medidas de drenaje son instaladas. 2) Problemas especiales causados por la formación de hielo no es considerado.		

Tabla 5.5 Valoración del factor de reducción por presencia de agua en las juntas (J_w) para el cálculo del índice Q

SFR (Factor de Reducción por Esfuerzos)

En general, el SFR describe la relación entre esfuerzos y la resistencia de la roca alrededor de la caverna. Ambas esfuerzo y resistencia pueden ser medidos, y el SRF puede ser calculado, de la relación entre la resistencia uniaxial de la roca σ_c y el esfuerzo principal

mayor σ_1 . Si estos datos no son disponibles el SFR puede ser estimado en base a: la experiencia general, de lo que se observa en el túnel o sobre superficie.

Factor de Reducción por Esfuerzos		
a) Zonas de debilidad que interceptan la excavación y que pueden ser la causa de que el macizo se desestabilice cuando se construya el túnel		
Descripción	SFR	
Múltiples zonas de debilidad que contengan arcilla o roca químicamente desintegrada, roca circundante muy suelta (cualquier profundidad)	10,00	
Zonas de debilidad aisladas que contengan arcilla o roca químicamente desintegrada (profundidad < 50 m.)	5,00	
Zonas de debilidad aisladas que contengan arcilla o roca químicamente desintegrada (profundidad > 50 m.)	2,50	
Múltiples zonas de fractura en roca competente sin arcilla, roca circundante suelta (cualquier profundidad),	7,50	
Zonas de fracturas aisladas en roca competente sin arcilla, (profundidad de excavación < 50 m)	5,00	
Zonas de fracturas aisladas en roca competente sin arcilla, (profundidad de excavación > 50 m)	2,50	
Diaclasas abiertas suelta, diaclasado intenso (cualquier profundidad)	5,00	
b) Rocas competentes, problemas de tensiones		
Descripción	σ/σ_1	Valoración
Tensiones bajas cerca de la superficie	> 200	2,50
Tensiones de nivel medio	200 - 10	1
Elevado nivel de tensiones, estructura muy cerrada	10 - 5	0,5 – 2
Lajamiento moderado después de una hora en roca masiva	5 - 1	5 – 50
Lajamiento y explosión de roca en pocos minutos en roca masiva	< 1	50 – 200.

Tabla 5.6. Valoración del factor de reducción por esfuerzos (SFR) para el cálculo del índice Q

Calidad de Roca según Índice Q

Una vez obtenido el valor de Q, se clasifica generalmente al macizo rocoso en una de las nueve tipos de calidad de macizos rocosos definidas por Barton y Grimstad (1994). La tabla de clasificación se la indica a continuación:

Valor Q	Calidad de Roca
0.001 – 0.01	Excepcionalmente Malo
0.01 – 0.1	Extremadamente Malo
0.1 – 1	Muy Malo
1 – 4	Malo
4 – 10	Medio
10 – 40	Bueno
40 – 100	Muy Bueno
100 – 400	Extremadamente Bueno
400 - 1000	Excepcionalmente Bueno

Tabla 5.7 Calidad de Macizos Rocosos en relación al índice Q

ANEXO 6

ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESION SIMPLE Y CARGA PUNTUAL

TABLA 6.1 RESULTADOS DE ENSAYOS DE COMPRESIÓN SIMPLE Y PESO UNITARIO DE LA UNIDAD LITOLÓGICA I
 (Tomado de Apéndice VI Geología y Geotécnica Anexo C Mecánicas de Rocas, INECEL, 1989
 Ensayos de Laboratorio Proyecto San Francisco, GeoConsul, 2005)

Proyecto: San Francisco
 Localidad: Cámara de Interconexión
 Unidad Litológica: Unidad 1. Esquistos cuarzos - micáceos grafitosos

Sondeo	No. Muestra	Prof. (m)	Descripción Petrografía	Peso Unitario (gr/cm3)	Compresión Simple				Corte Directo	
					(kg/cm2)	MPa	E (kg/cm2)	u	C (kg/cm2)	Ø (grados)
IC-132	MIC-132-1	14.22	Esquist Micác	2.75	413	40				
	MIC-132-2	27.92	Esquist Micác	2.77	763	75	330600	0.23		
IC-133	MCI-133-2	27.92	Esquist Micác	2.86	812	80	436360	0.075		
	MCI-133-3	37.57	Esquist Micác	2.87	637	62	333330	0.061		
	MCI-133-4	17.61	Esquist Micác	2.86	549	54				30
	MCI-133-5	27.19	Esquist Micác	2.81	460	45				
	MCI-133-6	36.46	Esquist Micác	2.76	598	59				
	MCI-133-7	19.39	Esquist Micác	2.74	549	54				
IC-134	MCI-134-2	22.37	Esquist Micác	2.76	598	59				
	MCI-134-3	29.46	Esquist Micác	2.74	549	54				
IC-135	MCI-135-1	11.94	Esquist Micác	2.77	647	63	325000	0.058		
	MCI-135-4	11.78	Esquist Micác	2.87	447	44				
IC'136	MCI-136-2	20.06	Esquist Micác	2.81	414	41	82550	0.044		
	MCI-136-3	29.67	Esquist Micác	2.85	412	40				
	MCI-136-10	16.99	Esquist Micác	2.85	530	52				
	MCI-136-11	19.29	Esquist Micác	2.79	610	60				
SCI-1	SCI-1B	114.4	Esquist. Graft.	2.84	340	33	825000	0.397		20
	SCI-1B-2	114.4	Esquist. Graft.	2.76	588	58				
	SCI-1A	103.4	Esquist. Micac.	2.81	519	51				
	SCI-1A-2	103.4	Esquist. Micac.	2.84	578	57	1145455	0.219		46
	SCI-1C	131.35	Esquist. Graft.	2.82	635	62				
	SCI-1C-2	131.35	Esquist. Graft.	2.81	490	48	1875000	0.182		51
Promedio				2.81	552	54	669162	0.158		37
Desviación estándar				0.04	114	11	591530	0.122		14
Varianza de la muestra				0.00	12984	125	3.5E+11	0.015		205

TABLA 6.2 RESULTADOS DE ENSAYOS DE COMPRESIÓN SIMPLE Y PESO UNITARIO DE LA UNIDAD LITOLOGICA II
 (Tomado de Apéndice VI Geología y Geotécnia Anexo C Mecánicas de Rocas, INECEL, 1989
 Ensayos de Laboratorio Proyecto San Francisco, GeoConsul, 2005)

Proyecto: San Francisco
 Localidad: Río Blanco
 Unidad Litológica: Unidad 2. Esquistos negros y esquistos grafitosos

Sondeo	No. Muestra	Prof. (m)	Descripción Petrografía	Peso Unitario (gr/cm3)	Compresión Simple				Corte Directo	
					(kg/cm2)	MPa	E (kg/cm2)	u	C (kg/cm2)	Ø (grados)
PT-101	MPT-101-1	100.13	Esquist Silc	3.074	1055	103				
	MPT-101-2	107.66	Esquist Micác	2.967	1219	119	1036840	0.26		
	MPT-101-3	127.92	Esquist Micác	2.955	485	48				
RB-110	MRB-110-2	61.37	Esquist Micác	2.991	1273	125	789410	0.11		
	MSRB-1-2	104.86	Esquist Silc	2.976	2779	272				
	MSRB-1-3	81.09	Esquist Silc	2.908	339	33				
RB-110	RB-01	103.6	Esquist. Graft.	2.92	862	84				
	RB-01-2	103.6	Esquist. Graft.	2.95	1400	137	1428571	0.125		59
	RB-02	106.4	Esquist. Micac.	2.85	958	94	2200000	0.234		44
	RB-02-2	106.4	Esquist. Micac.	2.87	749	73				
Promedio				2.95	1112	109	1363705	0.182		52
Desviación estándar				0.06	676	66	616510	0.075		11
Varianza de la muestra				0.00	456788	4387	3.80E+11	0.006		113

TABLA 6.3 RESULTADOS DE ENSAYOS DE CARGA PUNTUAL DE LA UNIDAD GEOLOGICA III
(Tomado de Apéndice VI Geología y Geotécnia Anexo C Mecánicas de Rocas, INCEC, 1989)

Proyecto: San Francisco
 Localidad: Afloramientos a lo largo de la carretera
 Unidad Litológica: Unidad 3. Esquistos y gneis cloríticos - sericíticos

Sondeo	Prof. (m)	Cota	Descripción Petrográfica	Carga (KN)	Is (Mpa)	Resist Comp Simple qu (MPa)
	Superf.		Esqut.	21	8.07	184
	Superf.		Esqut.	6	3.24	68
	Superf.		Esqut.	19.5	8.83	189
	Superf.		Esqut.	17	7.38	162
	Superf.		Esqut.	11.5	4.25	98
	Superf.		Esqut.	20	9.05	205
	Superf.		Esqut.	25	11.32	253
	Superf.		Esqut.	22	7.54	173
	Superf.		Esqut.	9	4.07	89
	Superf.		Esqut.	18	7.81	173
	Superf.		Esqut.	11	5.68	123
	Superf.		Esqut.	11	4.77	105
	Superf.		Esqut.	12	5.92	127
	Superf.		Esqut.	21	10.85	228
	Superf.		Esqut.	8	4.53	91
	Superf.		Esqut.	17	8.03	173
	Superf.		Esqut.	12	5.43	116
	Superf.		Esqut.	16	6.94	157
	Superf.		Esqut.	10	3.69	84
	Superf.		Esqut.	6.5	2.23	52
	Superf.		Esqut.	14	8.33	168
	Superf.		Esqut.	11	3.77	91
	Superf.		Esqut.	6	2.4	55
	Superf.		Esqut.	7	2.4	56
	Superf.		Esqut.	15	8.92	180
	Superf.		Esqut.	7	4.38	91
	Superf.		Esqut.	22	7.27	173
	Superf.		Esqut.	10	3.7	85
	Superf.		Esqut.	20	4.73	125
	Superf.		Esqut.	5.6	2.53	57
	Superf.		Esqut.	15	6.79	150
	Superf.		Esqut.	22	13.75	266
	Superf.		Esqut.	25	15.62	309
	Superf.		Esqut.	5	2.97	63
	Superf.		Esqut.	5.6	3.03	64
	Superf.		Esqut.	23.5	7.77	185
	Superf.		Esqut.	6.5	2.82	61
	Superf.		Esqut.	28	9.25	218
	Superf.		Esqut.	12	4.8	109
	Superf.		Esqut.	10	4.94	105
	Superf.		Esqut.	8	5	102
	Superf.		Esqut.	10	3.3	82
	Superf.		Esqut.	11	4.07	96
	Superf.		Esqut.	8	2.85	66
	Superf.		Esqut.	18	5.95	148
	Superf.		Esqut.	5	2.83	58
Promedio						131
Desviación estándar						63
Varianza de la muestra						3973

TABLA 6.4 RESULTADOS DE ENSAYOS DE COMPRESIÓN SIMPLE Y PESO UNITARIO DE LA UNIDAD LITOLOGICA IV
 (Tomado de Apéndice VI Geología y Geotécnica Anexo C Mecánicas de Rocas, INECCEL, 1989)

Proyecto: San Francisco
 Localidad: Quebrada La Merced
 Unidad Litológica: Unidad 4. Esquistos y gneis de plagioclasa - cuarzo y moscovita

Sondeo	No. Muestra	Prof. (m)	Descripción Petrografía	Peso Unitario (gr/cm ³)	Compresión Simple				Corte Directo	
					(kg/cm ²)	MPa	E (kg/cm ²)	u	C (kg/cm ²)	Ø (grados)
PT-102	MPT-102-1	207.08	Esquist Silc	2.75	774	76				
	MPT-102-2	258.58	Gneis Granítico	2.79	1304	128				
	MPT-102-3	309.93	Gneis Granítico	2.71	1104	108	561003	0.035		
Promedio				2.75	1061	104	561003	0.035		
Desviación estándar				0.04	268	26				
Varianza de la muestra				0.00	71633	688				

TABLA 6.5 RESULTADOS DE ENSAYOS DE COMPRESIÓN SIMPLE Y PESO UNITARIO DE LA UNIDAD LITOLOGICA V
 (Tomado de Apéndice VI Geología y Geotécnia Anexo C Mecánicas de Rocas, INECEL, 1989
 Ensayos de Laboratorio Proyecto San Francisco, GeoConsul, 2005)

Proyecto: San Francisco
 Localidad: Río Verde
 Unidad Litológica: Unidad 5. Gneis y esquistos de cuarzo - feldespato y biotita

Sondeo	No. Muestra	Prof. (m)	Descripción Petrografía	Peso Unitario (gr/cm ³)	Compresión Simple				Corte Directo	
					(kg/cm ²)	MPa	E (kg/cm ²)	u	C (kg/cm ²)	Ø (grados)
SRV-2	MSRV-2-1	55.24	Gneis Czo-Biot	2.84	819	80	512444	0.150		
	MSRV-2-2	65.12	Gneis Czo-Biot	2.84	812	80				
SRV-4	MSRV-4-1	112.90	Gneis Czo-Biot	2.88	461	45				
	MSRV-4-2	127.06	Gneis Czo-Biot	2.84	455	45				
	MSRV-4-3	138.85	Gneis Czo-Biot	2.96	532	52	279163	0.210		
PT-104	MPT-104-1	99.75	Gneis Czo-Biot	2.91	789	77				
	MPT-104-2	119.87	Gneis Czo-Biot	2.80	729	71	234850	0.057		
	MPT-104-3	138.00	Gneis Czo-Biot	2.87	545	53				
RV-143	MRV-143-1	49.60	Gneis Czo-Biot	2.87	520	51	150000	0.090		
SRV-2A	RV-01	67.7	Esquist. Clort.	2.86	743	73	2500000	0.029		76
	RV-01A	67.7	Esquist. Clort.	2.87	548	54				
	RV-2	70.3	Esquist. Micac.	2.84	617	60				
	RV-2A	70.3	Esquist. Micac.	2.86	565	55	1132075	0.105		62
	RV-3	76.3	Esquist. Clort.	2.85	392	38				
	RV-3A	76.3	Esquist. Clort.	2.84	444	44	833333	0.037		74
Promedio				2.86	598	59	805981	0.097		71
Desviación estándar				0.04	144	14	826336	0.065		8
Varianza de la muestra				0.00	20848	200	6.83E+11	0.004		57

TABLA 6.6 RESULTADOS DE ENSAYOS DE COMPRESIÓN SIMPLE Y PESO UNITARIO DE LA UNIDAD LITOLÓGICA VI
 (Tomado de Apéndice VI Geología y Geotécnia Anexo C Mecánicas de Rocas, INECEL, 1989
 Ensayos de Laboratorio Proyecto San Francisco, GeoConsul, 2005)

Proyecto: San Francisco
 Localidad: Río Machay
 Unidad Litológica: Unidad 6. Gneis y esquistos cloríticos

Sondeo	No. Muestra	Prof. (m)	Descripción Petrografía	Peso Unitario (gr/cm ³)	Compresión Simple				Corte Directo	
					(kg/cm ²)	MPa	E (kg/cm ²)	u	C (kg/cm ²)	Ø (grados)
PT-141C	MPT-141C-2		Gneis	2.82	508	50	500000	0.09		
	MPT-141C-3	79.7	Gneis	2.80	377	37				
	MPT-141C-4	109.8	Gneis	2.84	749	73	545450	0.1		
PT-106	MPT-106-1	100.61	Esquist Clorit	2.73	889	87				
	MPT-106-2	119.45	Esquist Clorit	2.74	725	71	433615	0.114		
	MPT-106-3	137.4	Esquist Clorit	2.79	733	72				
	MPT-106-4	159.82	Esquist Clorit	2.77	996	98	535156	0.193		
SRM-6	MSRM-6-2	78.2	Esquist Clorit	2.79	750	74				
RM-126	MRM-126-1	43.05	Esquist Clorit	2.82	678	66	772993	0.295		
	MRM-126-2	56	Esquist Clorit	2.84	726	71	191100	0.3		
PT-141D	RM-01	91.5	Esquist. Mic.	2.72	363	36				
	RM-01-2	91.5	Esquist. Mic.	2.71	306	30	812500	0.132		58
	RM-02	101.5	Esquist. Clort.	2.72	357	35	851064	0.037		62
	RM-03	103.5	Esquist. Clort.	2.72	519	51	1935484	0.092		64
	RM-03-2	103.5	Esquist. Clort.	2.74	473	46				
Promedio				2.77	610	60	730818	0.150		61
Desviación estándar				0.04	211	21	497453	0.093		3
Varianza de la muestra				0.00	44373	426	2.5E+11	0.009		9

TABLA 6.7 RESULTADOS DE ENSAYOS DE COMPRESIÓN SIMPLE Y PESO UNITARIO DE LA UNIDAD LITOLÓGICA VII
(Tomado de Apéndice VI Geología y Geotécnica Anexo C Mecánicas de Rocas, INECEL, 1989)

Proyecto: San Francisco
Localidad: Casa de Máquinas
Unidad Litológica: Unidad 7. Granito orientado

Sondeo	No. Muestra	Prof. (m)	Descripción Petrografía	Peso Unitario (gr/cm3)	Compresión Simple				Corte Directo	
					(kg/cm2)	MPa	E (kg/cm2)	u	C (kg/cm2)	Ø (grados)
SSF-8	MSSF-8-1	129.6	Granito Orient	2.60	1170	115	364213	0.17		
	MSSF-8-3	197.78	Granito Orient	2.62	1595	156	433330	0.1		
SPH-116	MSPH-116-1	159.27	Granito Orient	2.63	1147	112				
	MSPH-116-2	182.5	Granito Orient	2.64	1673	164				
	MSPH-116-3	206.9	Granito Orient	2.63	1566	153				
PS-107	MPS-107-1	198.53	Granito Orient	2.62	1089	107	475000	0.124		
	MPS-107-2	251.58	Granito Orient	2.62	1036	102				
	MPS-107-3	288.87	Granito Orient	2.62	1393	137	560000	0.18		
	MPS-107-4	291.98	Granito Orient	2.62	1309	128				
SPH-128	MPS-128-1	183.96	Granito Orient	2.62	1523	149	490677	0.095		
	MPS-128-2	197.64	Granito Orient	2.61	974	95				
SPH-117	MSPH-117-1	10.94	Granito Orient	2.62	1885	185	563130	0.079		
	MSPH-117-2	23.9	Granito Orient	2.60	1444	142				50
	MSPH-117-3	12.17	Granito Orient	2.61	1891	185				
SPH-118	MSPH-118-1	15.42	Granito Orient	2.62	1626	159				
	MSPH-118-2	15.94	Granito Orient	2.71	2379	233	510582	0.092		
	MSPH-118-4	26.03	Granito Orient	2.62						
SPH-119	MSPH-119-2	12.92	Granito Orient	2.64	2193	215				
	MSPH-119-3	23.38	Granito Orient	2.62	1548	152	541360	0.172		
SPH-120	MSPH-120-3	29.08	Granito Orient	2.84	1712	168	505303	0.212		
	MSPH-120-4	38.82	Granito Orient	2.62	1253	123				
SPH-121	MSPH-121-2	9.93	Granito Orient	2.63	685	67	397690	0.097		
	MSPH-121-3	14.74	Granito Orient	2.63	1314	129				
SPH-122	MSPH-122-2	31.38	Granito Orient	2.62	746	73				
	MSPH-122-3	35.1	Granito Orient	2.63	939	92	490590	0.124		
SPH-123	MSPH-123-2	30.7	Granito Orient	2.63	1115	109				
	MSPH-123-3	35.85	Granito Orient	2.63	2581	253	636786	0.144		
SPH-124	MSPH-124-1	21.78	Granito Orient	2.62	2084	204	622940	0.112		
	MSPH-124-2	30.56	Granito Orient	2.63	1546	152				
	MSPH-124-3	39.1	Granito Orient	2.63	2584	253	641465	0.203		
SPH-142	MSPH-142-1	20.2	Granito Orient	2.63	1490	146	395000	0.1		
	MSPH-142-2	30.75	Granito Orient	2.62	1855	182				
	MSPH-142-3	41.45	Granito Orient	2.62	1425	140	530000	0.1		
	MSPH-142-4		Granito Orient							34
Promedio				2.63	1524	149	509879	0.132		42
Desviación estándar				0.04	482	47	84769	0.042		11
Varianza de la muestra				0.00	232184	2230	7185826245	0.002		128

Tabla 6.8 Estimación aproximada y clasificación de la resistencia a compresión simple de suelos y rocas a partir de índices de campo (Tomado de ISRM, 1981, en González de Vallejo, 2004)

Descripción	Identificación de campo	Aprox. RCS (MPa)
Arcilla muy blanda	El puño penetra varios cm.	< 0.025
Arcilla débil	El dedo penetra fácilmente varios cm	0.025 – 0.05
Arcilla firme	Se necesita presión para hincar el dedo	0.05 – 0.1
Arcilla rígida	Fuerte presión para hincar el dedo	0.1 – 0.25
Arcilla muy rígida	Con presión puede marcarse con la uña	0.25 – 0.5
Arcilla dura	Se marca con dificultad al presionar la uña	> 0.5
Roca extr. blanda	Se puede marcar con la uña	0.25 – 1.0
Roca muy blanda	La roca se desmenuza al golpear con el martillo. Con navaja se talla fácilmente	1.0 – 5.0
Roca blanda	Se talla con dificultad con una navaja. Al golpear con el martillo se produce pequeñas marcas.	5.0 – 25
Roca moderadamente dura	No puede tallarse con la navaja. Puede fracturarse con un golpe fuerte del martillo	25 – 50
Roca dura	Se requiere más de un golpe de martillo para fracturarla	50 – 100
Roca muy dura	Se requiere muchos golpes de martillo para fracturarla	100 – 250
Roca extremadamente dura	Al golpearlo con el martillo solo saltan esquirlas	> 250

ANEXO 7

RESULTADO DE LAS OBSERVACIONES DEL TERRENO EN SUPERFICIE PARA LA CLASIFICACIÓN RMR E ÍNDICE Q

CLASIFICACION GEOMECANICA

Formulario de Datos de Campo - Sistema RMR

Proyecto : Tunel de Conduccion San Francisco
Unidad Litológica: Esquistos cuarzo - micáceos grafiticos
Tipo de Roca : Esquistos micáceos con grafito, intercalados con esquistos graf.
Realizado por: Patricio Zamora
Síto de Observación: 1

RESISTENCIA DE LA ROCA INTACTA			RQD			
Clase	Resistencia a la Compresión Simple Mpa	Indice de Carga Puntual. Mpa	Excelente	90 - 100 %		
Muy Alta	> 250	>10	Muy bueno	75 - 89 %	86 **	
Alta	100 - 250	4 - 10	Regular	50 - 74 %		
Media	50 - 100	2 - 4	Malo	25 - 49 %		
Baja	25 - 50	1 - 2	Muy Malo	< 25 %		
Muy Baja	< 25	< 1				
RQD = 115 - 3.3 Jv						
Jv = 1 / Es1 + 1 / Es2 + 1 / Es3+ 1 / Esn						
ES1=0.3 ES2=0.25 ES3=1.5 ES4=1.5						
ORIENTACION DE LAS DISCONTINUIDADES						
Sistema 1	F1	Rumbo	N20W	Buzamiento	80SW	Buz/Dir. Buz 80/250
Sistema 2	J2	Rumbo	N85E	Buzamiento	64SE	Buz/Dir. Buz 64/175
Sistema 3	J6	Rumbo	N45W	Buzamiento	47NE	Buz/Dir. Buz 47/045
Sistema 4	Alt.	Rumbo	N10W	Buzamiento	39SW	Buz/Dir. Buz 39/260
ESPACIAMIENTO DE LAS DISCONTINUIDADES						
			Sistema 1	Sistema 2	Sistema 3	Sistema 4
Muy Ancho	> 2 m					
Ancho	0.60 a 2 m			1.5	1.5	
Moderado	0.20 a 0.60 m	0.30	0.25			
Cerrado	0.06 a 0.20 m					
Muy Cerrado	< 0.06 m					
CONDICIONES DEL AGUA						
Flujo por 10 m de longitud de Túnel		CONDICIONES GENERALES:				
		Seco :				
Presión de Agua		Humedo:	X	X	X	X
		Mojado:				
		Goteo:				
		Flujo:				
TENSIONES "IN SITU"						

		CONDICION DE LAS DISCONTINUIDADES			
CONTINUIDAD O PERSISTENCIA		Sistema 1	Sistema 2	Sistema 3	Sistema 4
Muy Baja	< 1 m			X	
Baja	1 - 3 m				
Media	3 - 10 m	X	X		X
Alta	10 - 20 m				
Muy Alta	> 20 m				
ABERTURA O SEPARACION					
Muy Cerrada	< 0.1 mm	X			
Cerrada	0.1 - 0.5 mm		X	X	X
Moderada	0.5 - 2.5 mm				
Abierta	2.5 - 10 mm				
Muy Abierta	> 10 mm				
RUGOSIDAD Y PLANARIDAD (Superficies planares P, Ondulados O, Escalonados E)					
Muy Rugosas					
Rugosas			P	P	P
Ligeramente rugosas		O			
Lisas					
Espejo de fallas					
RELLENO					
Tipo:	Duro o Suave	D	D	D	D
Espesor:	> 5mm o < 5 mm	<	<	<	>
Resistencia compresión simple:					
Flujo:					
ALTERACION DE PAREDES DE DISCONTINUIDAD					
Fresca					
Ligeramente alterada		X	X	X	X
Moderada					
Fuerte					
Descompuesta					
OBSERVACIONES					
Esquistos grafiticos intercalados en paquetes de 20 a 30 cm.					
* Tomado del valor promedio de RCS (Tabla 6.1, anexo 6)					
** Determinado por la relación RQD = 115-3.3 Jv					

CLASIFICACION GEOMECANICA

Formulario de Datos de Campo - Sistema RMR

Proyecto : Tunel de Conduccion San Francisco
Unidad Litológica: Esquistos cuarzo - micáceos grafiticos
Tipo de Roca : Esquisto cuarzo-micáceo
Realizado por: Patricio Zamora

Sitio de Observación: 2

RESISTENCIA DE LA ROCA INTACTA			RQD		
Clase	Resistencia a la Compresión Simple Mpa	Indice de Carga Puntual. Mpa			
Muy Alta	> 250	>10	Excelente	90 - 100 %	
Alta	100 - 250	4 - 10	Muy bueno	75 - 89 %	
Media	50 - 100	2 - 4	Regular	50 - 74 %	69 **
Baja	25 - 50	1 - 2	Malo	25 - 49 %	
Muy Baja	< 25	< 1	Muy Malo	< 25 %	
			RQD = 115 - 3.3 Jv		
			Jv = 1 /Es1 + 1 /Es2 + 1/ Es3+ 1/EsN		
			ES1=0.15 ES2=0.25 ES3=0.30		

ORIENTACION DE LAS DISCONTINUIDADES						
Sistema 1	F3	Rumbo	N12E	Buzamiento	80NW	Buz/Dir. Buz 80/282
Sistema 2	J1	Rumbo	N80E	Buzamiento	82NW	Buz/Dir. Buz 82/350
Sistema 3	J6	Rumbo	N18W	Buzamiento	60NW	Buz/Dir. Buz 60/072
Sistema 4		Rumbo		Buzamiento		Buz/Dir. Buz

ESPACIAMIENTO DE LAS DISCONTINUIDADES					
		Sistema 1	Sistema 2	Sistema 3	Sistema 4
Muy Ancho	> 2 m				
Ancho	0.60 a 2 m				
Moderado	0.20 a 0.60 m		0.25	0.30	
Cerrado	0.06 a 0.20 m	0.15			
Muy Cerrado	< 0.06 m				

CONDICIONES DEL AGUA	
Flujo por 10 m de longitud de Túnel	CONDICIONES GENERALES:
	Seco : _____
Presión de Agua	Humedo: _____
	Mojado: _____
	Goteo: _____
	Flujo: _____ X _____ X _____ X

TENSIONES "IN SITU"

CONDICION DE LAS DISCONTINUIDADES				
CONTINUIDAD O PERSISTENCIA	Sistema 1	Sistema 2	Sistema 3	Sistema 4
Muy Baja < 1 m				
Baja 1 - 3 m				
Media 3 - 10 m	X		X	
Alta 10 - 20 m		X		
Muy Alta > 20 m				
ABERTURA O SEPARACION				
Muy Cerrada < 0.1 mm				
Cerrada 0.1 - 0.5 mm		X		
Moderada 0.5 - 2.5 mm				
Abierta 2.5 - 10 mm			X	
Muy Abierta > 10 mm	X			
RUGOSIDAD Y PLANARIDAD (Superficies planares P, Ondulados O, Escalonados E)				
Muy Rugosas				
Rugosas				
Ligeramente rugosas		P		
Lisas			P	
Espejo de fallas	O			
RELLENO				
Tipo: Duro o Suave	S	S	S	
Espesor: > 5mm o < 5 mm	>	<	>	
Resistencia compresión simple:	Disgregado			
Flujo:	2 l/min			
ALTERACION DE PAREDES DE DISCONTINUIDAD				
Fresca				
Ligeramente alterada				
Moderada				
Fuerte		x	x	
Descompuesta	x			
OBSERVACIONES	Contacto litológico fallado, zonas cizalladas 30-50 cm, intercalados cada 2 a 3 m			
	* Estimación aproximada de RCS, en base a índices de campo (Tabla 6.8, anexo 6)			
	** Determinado por la relación RQD = 115-3.3 Jv			

CLASIFICACION GEOMECANICA
Formulario de Datos de Campo - Sistema RMR

Proyecto : Tunel de Conduccion San Francisco
 Unidad Litológica: Esquistos negros y esquistos grafiticos
 Tipo de Roca : Esquistos cuarzo-micáceos con grafito
 Realizado por: Patricio Zamora
 Sitio de Observación: 3

RESISTENCIA DE LA ROCA INTACTA			RQD		
Clase	Resistencia a la Compresión Simple Mpa	Indice de Carga Puntual. Mpa	Excelente	80 - 100 %	84**
Muy Alta	> 250	>10	Muy bueno	75 - 89 %	
Alta	100 - 250	4 - 10	Regular	50 - 74 %	
Media	50 - 100	2 - 4	Malo	25 - 49 %	
Baja	25 - 50	1 - 2	Muy Malo	< 25 %	
Muy Baja	< 25	< 1	RQD = 115 - 3.3 Jv Jv = 1/Es1 + 1/Es2 + 1/Es3+ 1/EsN ES1=0.3 ES2=0.5 ES3=0.25		

ORIENTACION DE LAS DISCONTINUIDADES							
Sistema 1	F3	Rumbo	N10E	Buzamiento	80NW	Buz/Dir. Buz	80/280
Sistema 2	J1	Rumbo	N85E	Buzamiento	82NW	Buz/Dir. Buz	82/355
Sistema 3	J5	Rumbo	N60E	Buzamiento	25NW	Buz/Dir. Buz	25/330
Sistema 4		Rumbo		Buzamiento		Buz/Dir. Buz	

ESPACIAMIENTO DE LAS DISCONTINUIDADES					
		Sistema 1	Sistema 2	Sistema 3	Sistema 4
Muy Ancho	> 2 m				
Ancho	0.60 a 2 m				
Moderado	0.20 a 0.60 m	0.30	0.5	0.25	
Cerrado	0.06 a 0.20 m				
Muy Cerrado	< 0.06 m				

CONDICIONES DEL AGUA	
Flujo por 10 m de longitud de Túnel	CONDICIONES GENERALES:
	Seco : _____ Humedo: _____ x
Presión de Agua	Mojado: _____
	Goteo: _____ x _____ x
Flujo: _____	

TENSIONES "IN SITU"

		CONDICION DE LAS DISCONTINUIDADES			
CONTINUIDAD O PERSISTENCIA		Sistema 1	Sistema 2	Sistema 3	Sistema 4
Muy Baja	< 1 m				
Baja	1 - 3 m			x	
Media	3 - 10 m	x	x		
Alta	10 - 20 m				
Muy Alta	> 20 m				
ABERTURA O SEPARACION					
Muy Cerrada	< 0.1 mm		x		
Cerrada	0.1 - 0.5 mm	x		x	
Moderada	0.5 - 2.5 mm				
Abierta	2.5 - 10 mm				
Muy Abierta	> 10 mm				
RUGOSIDAD Y PLANARIDAD (Superficies planares P, Ondulados O, Escalonados E)					
Muy Rugosas					
Rugosas				P	
Ligeramente rugosas		P	P		
Lisas					
Espejo de fallas					
RELLENO			NO		
Tipo:	Duro o Suave	D		D	
Espesor:	> 5mm o < 5 mm	<		<	
Resistencia compresión simple:					
Flujo:					
ALTERACION DE PAREDES DE DISCONTINUIDAD					
Fresca					
Ligeramente alterada			X		
Moderada		X		X	
Fuerte					
Descompuesta					
OBSERVACIONES					
* Tomado del valor promedio de RCS (Tabla 6.2, anexo 6)					
** Determinado por la relación RQD = 115-3.3 Jv					

CLASIFICACION GEOMECANICA
Formulario de Datos de Campo - Sistema RMR

Proyecto : Tunel de Conduccion San Francisco
 Unidad Litológica: Esquistos cuarzo - micáceos grafiticos
 Tipo de Roca : Esquisto cuarzo-micáceo grafitoso
 Realizado por: Patricio Zamora
 Sitio de Observación: 4

RESISTENCIA DE LA ROCA INTACTA			RQD		
Clase	Resistencia a la Compresión Simple Mpa	Indice de Carga Puntual. Mpa	Excelente	80 - 100 %	81 **
Muy Alta	> 250	>10	Muy bueno	75 - 89 %	
Alta	100 - 250	4 - 10	Regular	50 - 74 %	
Media	50 - 100	2 - 4	Malo	25 - 49 %	
Baja	25 - 50	1 - 2	Muy Malo	< 25 %	
Muy Baja	< 25	< 1	RQD = 115 - 3.3 Jv Jv = 1/Es1 + 1/Es2 + 1/Es3+ 1/EsN ES1=0.2 ES2=0.3 ES3=0.5		

ORIENTACION DE LAS DISCONTINUIDADES							
Sistema 1	F2	Rumbo	N20E	Buzamiento	85SE	Buz/Dir. Buz	85/110
Sistema 2	J1	Rumbo	N85E	Buzamiento	75NW	Buz/Dir. Buz	75/355
Sistema 3	J2	Rumbo	N80E	Buzamiento	60SE	Buz/Dir. Buz	60/170
Sistema 4		Rumbo		Buzamiento		Buz/Dir. Buz	

ESPACIAMIENTO DE LAS DISCONTINUIDADES					
		Sistema 1	Sistema 2	Sistema 3	Sistema 4
Muy Ancho	> 2 m				
Ancho	0.60 a 2 m				
Moderado	0.20 a 0.60 m	0.20	0.3	0.50	
Cerrado	0.06 a 0.20 m				
Muy Cerrado	< 0.06 m				

CONDICIONES DEL AGUA					
Flujo por 10 m de longitud de Túnel	CONDICIONES GENERALES:				
	Seco :	X	X	X	
Presión de Agua	Humedo:				
	Mojado:				
	Goteo:				
	Flujo:				

TENSIONES "IN SITU"					

		CONDICION DE LAS DISCONTINUIDADES			
		Sistema 1	Sistema 2	Sistema 3	Sistema 4
CONTINUIDAD O PERSISTENCIA					
Muy Baja	< 1 m				
Baja	1 - 3 m		X	X	
Media	3 - 10 m	X			
Alta	10 - 20 m				
Muy Alta	> 20 m				
ABERTURA O SEPARACION					
Muy Cerrada	< 0.1 mm		X		
Cerrada	0.1 - 0.5 mm	X		X	
Moderada	0.5 - 2.5 mm				
Abierta	2.5 - 10 mm				
Muy Abierta	> 10 mm				
RUGOSIDAD Y PLANARIDAD (Superficies planares P, Ondulados O, Escalonados E)					
Muy Rugosas					
Rugosas					
Ligeramente rugosas		O	P	P	
Lisas					
Espejo de fallas					
RELLENO			NO	NO	
Tipo:	Duro o Suave	S			
Espesor:	> 5mm o < 5 mm	<			
Resistencia compresión simple:					
Flujo:					
ALTERACION DE PAREDES DE DISCONTINUIDAD					
Fresca					
Ligeramente alterada			X	X	
Moderada		X			
Fuerte					
Descompuesta					
OBSERVACIONES					
* Tomado del valor promedio de RCS (Tabla 6.2, anexo 6)					
** Determinado por la relación RQD = 115-3.3 Jv					

CLASIFICACION GEOMECANICA
Formulario de Datos de Campo - Sistema RMR

Proyecto : Tunel de Conduccion San Francisco
 Unidad Litológica: Esquistos cuarzo - micáceos grafiticos
 Tipo de Roca : Esquisto grafitoso
 Realizado por: Patricio Zamora
 Sitio de Observación: 5

RESISTENCIA DE LA ROCA INTACTA			RQD	
Clase	Resistencia a la Compresión Simple Mpa	Indice de Carga Puntual. Mpa		
Muy Alta	> 250	>10	Excelente	90 - 100 %
Alta	100 - 250	4 - 10	Muy bueno	75 - 89 %
Media	50 - 100	2 - 4	Regular	50 - 74 %
Baja	25 - 50	1 - 2	Malo	25 - 49 %
Muy Baja	< 25	< 1	Muy Malo	< 25 %

ORIENTACION DE LAS DISCONTINUIDADES						
Sistema 1	F3	Rumbo	N12E	Buzamiento	79NW	Buz/Dir. Buz 79/282
Sistema 2	J3	Rumbo	N70W	Buzamiento	70SW	Buz/Dir. Buz 70/200
Sistema 3	J5	Rumbo	N-S	Buzamiento	28E	Buz/Dir. Buz 28/090
Sistema 4	Alt	Rumbo	N30E	Buzamiento	85NW	Buz/Dir. Buz 85/300

ESPACIAMIENTO DE LAS DISCONTINUIDADES					
		Sistema 1	Sistema 2	Sistema 3	Sistema 4
Muy Ancho	> 2 m				
Ancho	0.60 a 2 m				1.00
Moderado	0.20 a 0.60 m	0.25	0.30	0.25	
Cerrado	0.06 a 0.20 m				
Muy Cerrado	< 0.06 m				

CONDICIONES DEL AGUA				
Flujo por 10 m de longitud de Túnel	CONDICIONES GENERALES:			
	Seco :	X	X	X
Presión de Agua	Humedo:			
	Mojado:			
	Goteo:			
	Flujo:			

TENSIONES "IN SITU"

		CONDICION DE LAS DISCONTINUIDADES			
		Sistema 1	Sistema 2	Sistema 3	Sistema 4
CONTINUIDAD O PERSISTENCIA					
Muy Baja	< 1 m				
Baja	1 - 3 m	X	X		X
Media	3 - 10 m			X	
Alta	10 - 20 m				
Muy Alta	> 20 m				
ABERTURA O SEPARACION					
Muy Cerrada	< 0.1 mm				
Cerrada	0.1 - 0.5 mm	X		X	X
Moderada	0.5 - 2.5 mm		X		
Abierta	2.5 - 10 mm				
Muy Abierta	> 10 mm				
RUGOSIDAD Y PLANARIDAD (Superficies planares P, Ondulados O, Escalonados E)					
Muy Rugosas					
Rugosas					
Ligeramente rugosas			P	P	P
Lisas		O			
Espejo de fallas					
RELLENO		NO		NO	NO
Tipo:	Duro o Suave		S		
Espesor:	> 5mm o < 5 mm		>5		
Resistencia compresión simple:					
Flujo:					
ALTERACION DE PAREDES DE DISCONTINUIDAD					
Fresca					
Ligeramente alterada					
Moderada		X	X	X	X
Fuerte					
Descompuesta					
OBSERVACIONES					
	* Tomado del valor promedio de RCS (Tabla 6.2, anexo 6)				
	** Determinado por la relación RQD = 115-3.3 Jv				

CLASIFICACION GEOMECANICA
Formulario de Datos de Campo - Sistema RMR

Proyecto : Tunel de Conduccion San Francisco
 Unidad Litológica: Esquistos y gneis cloríticos - sericiticos
 Tipo de Roca : Esquisto de cuarzo-sericita-clorita
 Realizado por: Patricio Zamora
 Sitio de Observación: 6

RESISTENCIA DE LA ROCA INTACTA			RQD		
Clase	Resistencia a la Compresión Simple Mpa	Indice de Carga Puntual. Mpa	Excelente	90 - 100 %	95 **
Muy Alta	> 250	>10	Muy bueno	75 - 89 %	
Alta	100 - 250	4 - 10	Regular	50 - 74 %	
Media	50 - 100	2 - 4	Malo	25 - 49 %	
Baja	25 - 50	1 - 2	Muy Malo	< 25 %	
Muy Baja	< 25	< 1	RQD = 115 - 3.3 Jv Jv = 1/Es1 + 1/Es2 + 1/Es3+ 1/Es4 ES1=0.5, ES2=1, ES3=0.5, ES4=1		

ORIENTACION DE LAS DISCONTINUIDADES							
Sistema 1	F4	Rumbo	N12W	Buzamiento	80NE	Buz/Dir. Buz	80/078
Sistema 2	J1	Rumbo	N82E	Buzamiento	60NW	Buz/Dir. Buz	60/352
Sistema 3	J4	Rumbo	N50E	Buzamiento	62SE	Buz/Dir. Buz	62/140
Sistema 4	Jalt	Rumbo	N-S	Buzamiento	65E	Buz/Dir. Buz	65/090

ESPACIAMIENTO DE LAS DISCONTINUIDADES					
		Sistema 1	Sistema 2	Sistema 3	Sistema 4
Muy Ancho	> 2 m				
Ancho	0.60 a 2 m		1.00		1.00
Moderado	0.20 a 0.60 m	0.50		0.50	
Cerrado	0.06 a 0.20 m				
Muy Cerrado	< 0.06 m				

CONDICIONES DEL AGUA					
Flujo por 10 m de longitud de Túnel	CONDICIONES GENERALES:				
	Seco :				
Presión de Agua	Humedo:	X	X	X	X
	Mojado:				
	Goteo:				
	Flujo:				

TENSIONES "IN SITU"					

		CONDICION DE LAS DISCONTINUIDADES			
		Sistema 1	Sistema 2	Sistema 3	Sistema 4
CONTINUIDAD O PERSISTENCIA					
Muy Baja	< 1 m				
Baja	1 - 3 m	X		X	
Media	3 - 10 m		X		X
Alta	10 - 20 m				
Muy Alta	> 20 m				
ABERTURA O SEPARACION					
Muy Cerrada	< 0.1 mm	X			
Cerrada	0.1 - 0.5 mm		X	X	X
Moderada	0.5 - 2.5 mm				
Abierta	2.5 - 10 mm				
Muy Abierta	> 10 mm				
RUGOSIDAD Y PLANARIDAD (Superficies planares P, Ondulados O, Escalonados E)					
Muy Rugosas					
Rugosas					
Ligeramente rugosas		P	P	P	P
Lisas					
Espejo de fallas					
RELLENO		NO	NO	NO	NO
Tipo:	Duro o Suave				
Espesor:	> 5mm o < 5 mm				
Resistencia compresión simple:					
Flujo:					
ALTERACION DE PAREDES DE DISCONTINUIDAD					
Fresca					
Ligeramente alterada			X	X	X
Moderada		X			
Fuerte					
Descompuesta					
OBSERVACIONES					
* Tomado del valor promedio de RCS de ensayos de carga puntual (Tabla 6.3, anexo 6)					
** Determinado por la relación RQD = 115-3.3 Jv					

CLASIFICACION GEOMECANICA
Formulario de Datos de Campo - Sistema RMR

Proyecto : Tunel de Conduccion San Francisco
 Unidad Litológica: Esquistos y gneis cloríticos - sericiticos
 Tipo de Roca : Esquisto-gneisico de cuarzo-sericita-clorita
 Realizado por: Patricio Zamora
 Sitio de Observación: 7

RESISTENCIA DE LA ROCA INTACTA			RQD		
Clase	Resistencia a la Compresión Simple Mpa	Indice de Carga Puntual. Mpa	Excelente	75 - 89 %	
Muy Alta	> 250	>10	Muy bueno	75 - 89 %	
Alta	100 - 250	4 - 10	Regular	50 - 74 %	75 **
Media	50 - 100	2 - 4	Malo	25 - 49 %	
Baja	25 - 50	1 - 2	Muy Malo	< 25 %	
Muy Baja	< 25	< 1	RQD = 115 - 3.3 Jv		
			Jv = 1 / Es1 + 1 / Es2 + 1 / Es3+ 1 / Esn		
			ES1=0.16 ES2=0.25 ES3=0.5		

ORIENTACION DE LAS DISCONTINUIDADES						
Sistema 1	F4	Rumbo	N10W	Buzamiento	65NE	Buz/Dir. Buz 65/080
Sistema 2	J1	Rumbo	N85E	Buzamiento	70NW	Buz/Dir. Buz 70/355
Sistema 3	J2	Rumbo	N85E	Buzamiento	65SE	Buz/Dir. Buz 65/175
Sistema 4		Rumbo		Buzamiento		Buz/Dir. Buz

ESPACIAMIENTO DE LAS DISCONTINUIDADES					
		Sistema 1	Sistema 2	Sistema 3	Sistema 4
Muy Ancho	> 2 m				
Ancho	0.60 a 2 m				
Moderado	0.20 a 0.60 m		0.25	0.50	
Cerrado	0.06 a 0.20 m	0.16			
Muy Cerrado	< 0.06 m				

CONDICIONES DEL AGUA				
Flujo por 10 m de longitud de Túnel	CONDICIONES GENERALES:			
	Seco :			
Presión de Agua	Humedo:	X	X	X
	Mojado:			
	Goteo:			
Flujo:				

TENSIONES "IN SITU"				

		CONDICION DE LAS DISCONTINUIDADES			
		Sistema 1	Sistema 2	Sistema 3	Sistema 4
CONTINUIDAD O PERSISTENCIA					
Muy Baja	< 1 m				
Baja	1 - 3 m	X	X		
Media	3 - 10 m			X	
Alta	10 - 20 m				
Muy Alta	> 20 m				
ABERTURA O SEPARACION					
Muy Cerrada	< 0.1 mm				
Cerrada	0.1 - 0.5 mm		X	X	
Moderada	0.5 - 2.5 mm	X			
Abierta	2.5 - 10 mm				
Muy Abierta	> 10 mm				
RUGOSIDAD Y PLANARIDAD (Superficies planares P, Ondulados O, Escalonados E)					
Muy Rugosas					
Rugosas					
Ligeramente rugosas			P	P	
Lisas					
Espejo de fallas		O			
RELLENO			NO	NO	
Tipo:	Duro o Suave	S			
Espesor:	> 5mm o < 5 mm	>			
Resistencia compresión simple:					
Flujo:					
ALTERACION DE PAREDES DE DISCONTINUIDAD					
Fresca					
Ligeramente alterada					
Moderada			X	X	
Fuerte					
Descompuesta		X			
OBSERVACIONES					
Zona de falla, 20 m de espesor, caracterizada por zonas cizalladas de 50-60 cm espaciadas cada 3 m (f5)					
* Tomado del valor promedio de RCS de ensayos de carga puntual (Tabla 6.3, anexo 6)					
** Determinado por la relación RQD = 115-3.3 Jv					

CLASIFICACION GEOMECANICA
Formulario de Datos de Campo - Sistema RMR

Proyecto : Tunel de Conduccion San Francisco
 Unidad Litológica: Esquistos y gneis cloríticos - sericiticos
 Tipo de Roca : Gneis esquistoso cuarzo-plagioclasa
 Realizado por: Patricio Zamora
 Sitio de Observación: 8

RESISTENCIA DE LA ROCA INTACTA			RQD		
Clase	Resistencia a la Compresión Simple Mpa	Indice de Carga Puntual. Mpa	Excelente	90 - 100 %	92 **
Muy Alta	> 250	>10	Muy bueno	75 - 89 %	
Alta	100 - 250	4 - 10	Regular	50 - 74 %	
Media	50 - 100	2 - 4	Malo	25 - 49 %	
Baja	25 - 50	1 - 2	Muy Malo	< 25 %	
Muy Baja	< 25	< 1	RQD = 115 - 3.3 Jv Jv = 1/Es1 + 1/Es2 + 1/Es3+ 1/EsN ES1=0.5, ES2=0.5, ES3=0.5, ES4=1		

ORIENTACION DE LAS DISCONTINUIDADES							
Sistema 1	F2	Rumbo	N18E	Buzamiento	80SE	Buz/Dir. Buz	80/108
Sistema 2	J1	Rumbo	N82E	Buzamiento	70NW	Buz/Dir. Buz	70/352
Sistema 3	J2	Rumbo	N80E	Buzamiento	80SE	Buz/Dir. Buz	80/170
Sistema 4	J4	Rumbo	N64E	Buzamiento	65NW	Buz/Dir. Buz	65/334

ESPACIAMIENTO DE LAS DISCONTINUIDADES					
		Sistema 1	Sistema 2	Sistema 3	Sistema 4
Muy Ancho	> 2 m				
Ancho	0.60 a 2 m				1.00
Moderado	0.20 a 0.60 m	0.50	0.50	0.50	
Cerrado	0.06 a 0.20 m				
Muy Cerrado	< 0.06 m				

CONDICIONES DEL AGUA					
Flujo por 10 m de longitud de Túnel	CONDICIONES GENERALES:				
	Seco : _____				
Presión de Agua	Humedo: _____				
	Mojado: <u>X</u> <u>X</u> <u>X</u> <u>X</u>				
	Goteo: _____				
Flujo: _____					

TENSIONES "IN SITU"					

		CONDICION DE LAS DISCONTINUIDADES			
		Sistema 1	Sistema 2	Sistema 3	Sistema 4
CONTINUIDAD O PERSISTENCIA					
Muy Baja	< 1 m				
Baja	1 - 3 m		X	X	
Media	3 - 10 m	X			X
Alta	10 - 20 m				
Muy Alta	> 20 m				
ABERTURA O SEPARACION					
Muy Cerrada	< 0.1 mm				X
Cerrada	0.1 - 0.5 mm	X	X	X	
Moderada	0.5 - 2.5 mm				
Abierta	2.5 - 10 mm				
Muy Abierta	> 10 mm				
RUGOSIDAD Y PLANARIDAD (Superficies planares P, Ondulados O, Escalonados E)					
Muy Rugosas					
Rugosas					
Ligeramente rugosas		P	P	P	P
Lisas					
Espejo de fallas					
RELLENO					
Tipo:	Duro o Suave	NO	NO	NO	NO
Espesor:	> 5mm o < 5 mm				
Resistencia compresión simple:					
Flujo:					
ALTERACION DE PAREDES DE DISCONTINUIDAD					
Fresca					
Ligeramente alterada			X	X	X
Moderada		X			
Fuerte					
Descompuesta					
OBSERVACIONES					
Intercalaciones de Esquistos micaceos de 30-40 cm de espesor					
* Tomado del valor promedio de RCS de ensayos de carga puntual (Tabla 6.3, anexo 6)					
** Determinado por la relación RQD = 115-3.3 Jv					

CLASIFICACION GEOMECANICA
Formulario de Datos de Campo - Sistema RMR

Proyecto : Tunel de Conduccion San Francisco
 Unidad Litológica: Esquistos y gneis cloríticos - sericiticos
 Tipo de Roca : Gneis esquistoso de plagioclasa-cuarzo-sericita
 Realizado por: Patricio Zamora
 Sitio de Observación: 9

RESISTENCIA DE LA ROCA INTACTA			RQD	
Clase	Resistencia a la Compresión Simple Mpa	Indice de Carga Puntual. Mpa	Excelente	81 **
Muy Alta	> 250	>10	90 - 100 %	
Alta	100 - 250	4 - 10	75 - 89 %	
Media	50 - 100	2 - 4	50 - 74 %	
Baja	25 - 50	1 - 2	25 - 49 %	
Muy Baja	< 25	< 1	< 25 %	

ORIENTACION DE LAS DISCONTINUIDADES							
Sistema 1	F1	Rumbo	N25W	Buzamiento	85SW	Buz/Dir. Buz	85/245
Sistema 2	J1	Rumbo	N80E	Buzamiento	69NW	Buz/Dir. Buz	69/350
Sistema 3	J3	Rumbo	N80W	Buzamiento	58SW	Buz/Dir. Buz	58/190
Sistema 4	J4	Rumbo	N55E	Buzamiento	62NW	Buz/Dir. Buz	62/325

ESPACIAMIENTO DE LAS DISCONTINUIDADES				
	Sistema 1	Sistema 2	Sistema 3	Sistema 4
Muy Ancho	> 2 m			
Ancho	0.60 a 2 m		1.00	
Moderado	0.20 a 0.60 m	0.25	0.30	0.50
Cerrado	0.06 a 0.20 m			
Muy Cerrado	< 0.06 m			

CONDICIONES DEL AGUA	
Flujo por 10 m de longitud de Túnel	CONDICIONES GENERALES:
	Seco : _____
Presión de Agua	Humedo: _____
	Mojado: _____
	Goteo: _____
	Flujo: _____

TENSIONES "IN SITU"

		CONDICION DE LAS DISCONTINUIDADES			
		Sistema 1	Sistema 2	Sistema 3	Sistema 4
CONTINUIDAD O PERSISTENCIA					
Muy Baja	< 1 m				
Baja	1 - 3 m				
Media	3 - 10 m		X	X	X
Alta	10 - 20 m	X			
Muy Alta	> 20 m				
ABERTURA O SEPARACION					
Muy Cerrada	< 0.1 mm				
Cerrada	0.1 - 0.5 mm	X	X	X	X
Moderada	0.5 - 2.5 mm				
Abierta	2.5 - 10 mm				
Muy Abierta	> 10 mm				
RUGOSIDAD Y PLANARIDAD (Superficies planares P, Ondulados O, Escalonados E)					
Muy Rugosas					
Rugosas					
Ligeramente rugosas					
Lisas		P	P	P	P
Espejo de fallas					
RELLENO			NO	NO	
Tipo:	Duro o Suave	D			D
Espesor:	> 5mm o < 5 mm	<			<
Resistencia compresión simple:					
Flujo:					
ALTERACION DE PAREDES DE DISCONTINUIDAD					
Fresca					
Ligeramente alterada		X	X	X	X
Moderada					
Fuerte					
Descompuesta					
OBSERVACIONES					
Limite transicional entre la Unidad de Esquistos y gneis cloríticos-sericiticos y gneis y esquistos de cuarzo feldespato					
* Tomado del valor promedio de RCS de ensayos de carga puntual (Tabla 6.3, anexo 6)					
** Determinado por la relación RQD = 115-3.3 Jv					

CLASIFICACION GEOMECANICA
Formulario de Datos de Campo - Sistema RMR

Proyecto : Tunel de Conduccion San Francisco
 Unidad Litológica: Esquistos y gneis de albita-cuarzo-moscovita
 Tipo de Roca : Esquistos cuarzo-plagioclasa y mica
 Realizado por: Patricio Zamora
 Sitio de Observación: 10

RESISTENCIA DE LA ROCA INTACTA			RQD		
Clase	Resistencia a la Compresión Simple Mpa	Indice de Carga Puntual. Mpa	Excelente	90 - 100 %	100 **
Muy Alta	> 250	>10	Muy bueno	75 - 89 %	
Alta	100 - 250	4 - 10	Regular	50 - 74 %	
Media	50 - 100	2 - 4	Malo	25 - 49 %	
Baja	25 - 50	1 - 2	Muy Malo	< 25 %	
Muy Baja	< 25	< 1	RQD = 115 - 3.3 Jv		
			Jv = 1 /Es1 + 1 /Es2 + 1/ Es3+ 1/Esn		
			ES1=0.6 ES2=0.5 ES3=1		

ORIENTACION DE LAS DISCONTINUIDADES						
Sistema 1	F4	Rumbo	N12W	Buzamiento	79NE	Buz/Dir. Buz 79/078
Sistema 2	J1	Rumbo	N80E	Buzamiento	66NW	Buz/Dir. Buz 66/350
Sistema 3	J2	Rumbo	E-W	Buzamiento	55S	Buz/Dir. Buz 55/180
Sistema 4		Rumbo		Buzamiento		Buz/Dir. Buz

ESPACIAMIENTO DE LAS DISCONTINUIDADES					
		Sistema 1	Sistema 2	Sistema 3	Sistema 4
Muy Ancho	> 2 m				
Ancho	0.60 a 2 m	0.60		1.00	
Moderado	0.20 a 0.60 m		0.50		
Cerrado	0.06 a 0.20 m				
Muy Cerrado	< 0.06 m				

CONDICIONES DEL AGUA	
Flujo por 10 m de longitud de Túnel	CONDICIONES GENERALES:
	Seco : _____
Presión de Agua	Humedo: <u> X </u> <u> X </u> <u> X </u>
	Mojado: _____
	Goteo: _____
	Flujo: _____

TENSIONES "IN SITU"

		CONDICION DE LAS DISCONTINUIDADES			
CONTINUIDAD O PERSISTENCIA		Sistema 1	Sistema 2	Sistema 3	Sistema 4
Muy Baja	< 1 m				
Baja	1 - 3 m				
Media	3 - 10 m			X	
Alta	10 - 20 m	X	X		
Muy Alta	> 20 m				
ABERTURA O SEPARACION					
Muy Cerrada	< 0.1 mm				
Cerrada	0.1 - 0.5 mm	X	X	X	
Moderada	0.5 - 2.5 mm				
Abierta	2.5 - 10 mm				
Muy Abierta	> 10 mm				
RUGOSIDAD Y PLANARIDAD (Superficies planares P, Ondulados O, Escalonados E)					
Muy Rugosas					
Rugosas					
Ligeramente rugosas					
Lisas		P	P	P	
Espejo de fallas					
RELLENO		NO	NO	NO	
Tipo:	Duro o Suave				
Espesor:	> 5mm o < 5 mm				
Resistencia compresión simple:					
Flujo:					
ALTERACION DE PAREDES DE DISCONTINUIDAD					
Fresca					
Ligeramente alterada		X	X	X	
Moderada					
Fuerte					
Descompuesta					
OBSERVACIONES					
* Tomado del valor promedio de RCS (Tabla 6.4, anexo 6)					
** Determinado por la relación RQD = 115-3.3 Jv					

CLASIFICACION GEOMECANICA
Formulario de Datos de Campo - Sistema RMR

Proyecto : Tunel de Conduccion San Francisco
 Unidad Litológica: Esquistos y gneis de albita-cuarzo-moscovita
 Tipo de Roca : Gneis de cuarzo-feldespato-biotita-clorita
 Realizado por: Patricio Zamora
 Sitio de Observación: 11

RESISTENCIA DE LA ROCA INTACTA			RQD		
Clase	Resistencia a la Compresión Simple Mpa	Indice de Carga Puntual. Mpa	Excelente	86 **	
Muy Alta	> 250	>10	90 - 100 %		
Alta	100 - 250	4 - 10	75 - 89 %		
Media	50 - 100	2 - 4	50 - 74 %		
Baja	25 - 50	1 - 2	25 - 49 %		
Muy Baja	< 25	< 1	< 25 %		
			Muy Malo		
			RQD = 115 - 3.3 Jv		
			Jv = 1 /Es1 + 1 /Es2 + 1/ Es3+ 1/Esn		
			ES1=0.2 ES2=0.4 ES3=0.7		

ORIENTACION DE LAS DISCONTINUIDADES							
Sistema 1	F4	Rumbo	N6W	Buzamiento	88NE	Buz/Dir. Buz	88/084
Sistema 2	J5	Rumbo	N84E	Buzamiento	35SE	Buz/Dir. Buz	35/174
Sistema 3	J1	Rumbo	N65E	Buzamiento	44NW	Buz/Dir. Buz	44/335
Sistema 4		Rumbo		Buzamiento		Buz/Dir. Buz	

ESPACIAMIENTO DE LAS DISCONTINUIDADES					
		Sistema 1	Sistema 2	Sistema 3	Sistema 4
Muy Ancho	> 2 m				
Ancho	0.60 a 2 m			0.70	
Moderado	0.20 a 0.60 m	0.20	0.40		
Cerrado	0.06 a 0.20 m				
Muy Cerrado	< 0.06 m				

CONDICIONES DEL AGUA					
Flujo por 10 m de longitud de Túnel	CONDICIONES GENERALES:				
	Seco :				
Presión de Agua	Humedo:	X	X	X	
	Mojado:				
	Goteo:				
	Flujo:				

TENSIONES "IN SITU"					

		CONDICION DE LAS DISCONTINUIDADES			
		Sistema 1	Sistema 2	Sistema 3	Sistema 4
CONTINUIDAD O PERSISTENCIA					
Muy Baja	< 1 m				
Baja	1 - 3 m				
Media	3 - 10 m				
Alta	10 - 20 m	X	X	X	
Muy Alta	> 20 m				
ABERTURA O SEPARACION					
Muy Cerrada	< 0.1 mm				
Cerrada	0.1 - 0.5 mm		X	X	
Moderada	0.5 - 2.5 mm	X			
Abierta	2.5 - 10 mm				
Muy Abierta	> 10 mm				
RUGOSIDAD Y PLANARIDAD (Superficies planares P, Ondulados O, Escalonados E)					
Muy Rugosas					
Rugosas					
Ligeramente rugosas					
Lisas		P	P	P	
Espejo de fallas					
RELLENO			NO	NO	
Tipo:	Duro o Suave	S			
Espesor:	> 5mm o < 5 mm	<			
Resistencia compresión simple:					
Flujo:					
ALTERACION DE PAREDES DE DISCONTINUIDAD					
Fresca					
Ligeramente alterada			X	X	
Moderada		X			
Fuerte					
Descompuesta					
OBSERVACIONES					
Contacto fallado entre la unidad de Esquisto y gneis de albita-cuarzo-muscovita y la unidad de gneis y esquistos de cuarzo-feldespato-biotita					
* Estimación aproximada de RCS, en base a índices de campo (Tabla 6.8, anexo 6)					
** Determinado por la relación RQD = 115-3.3 Jv					

CLASIFICACION GEOMECANICA
Formulario de Datos de Campo - Sistema RMR

Proyecto : Tunel de Conduccion San Francisco
 Unidad Litológica: Gneis y esquistos de cuarzo-feldespato-biotita
 Tipo de Roca : Gneis de plagioclas-cuarzo-mica
 Realizado por: Patricio Zamora
 Sitio de Observación: 12

RESISTENCIA DE LA ROCA INTACTA			RQD		
Clase	Resistencia a la Compresión Simple Mpa	Indice de Carga Puntual. Mpa	Excelente	90 - 100 %	91 **
Muy Alta	> 250	>10	Muy bueno	75 - 89 %	
Alta	100 - 250	4 - 10	Regular	50 - 74 %	
Media	50 - 100	2 - 4	Malo	25 - 49 %	
Baja	25 - 50	1 - 2	Muy Malo	< 25 %	
Muy Baja	< 25	< 1	RQD = 115 - 3.3 Jv		
			Jv = 1/Es1 + 1/Es2 + 1/Es3+ 1/EsN		
			ES1=0.25 ES2=0.45 ES3=1.0		

ORIENTACION DE LAS DISCONTINUIDADES						
Sistema 1	F1	Rumbo	N15W	Buzamiento	80SW	Buz/Dir. Buz 80/255
Sistema 2	J1	Rumbo	N70E	Buzamiento	65NW	Buz/Dir. Buz 65/340
Sistema 3	J5	Rumbo	N70E	Buzamiento	35SE	Buz/Dir. Buz 35/160
Sistema 4		Rumbo		Buzamiento		Buz/Dir. Buz

ESPACIAMIENTO DE LAS DISCONTINUIDADES					
		Sistema 1	Sistema 2	Sistema 3	Sistema 4
Muy Ancho	> 2 m				
Ancho	0.60 a 2 m			1.00	
Moderado	0.20 a 0.60 m	0.25	0.45		
Cerrado	0.06 a 0.20 m				
Muy Cerrado	< 0.06 m				

CONDICIONES DEL AGUA					
Flujo por 10 m de longitud de Túnel		CONDICIONES GENERALES:			
		Seco :	X	X	X
Presión de Agua		Mojado:			
		Goteo:			
		Flujo:			

TENSIONES "IN SITU"					

		CONDICION DE LAS DISCONTINUIDADES			
		Sistema 1	Sistema 2	Sistema 3	Sistema 4
CONTINUIDAD O PERSISTENCIA					
Muy Baja	< 1 m				
Baja	1 - 3 m			X	
Media	3 - 10 m	X	X		
Alta	10 - 20 m				
Muy Alta	> 20 m				
ABERTURA O SEPARACION					
Muy Cerrada	< 0.1 mm	X			
Cerrada	0.1 - 0.5 mm		X	X	
Moderada	0.5 - 2.5 mm				
Abierta	2.5 - 10 mm				
Muy Abierta	> 10 mm				
RUGOSIDAD Y PLANARIDAD (Superficies planares P, Ondulados O, Escalonados E)					
Muy Rugosas					
Rugosas					
Ligeramente rugosas		P			
Lisas			P	P	
Espejo de fallas					
RELLENO					
Tipo:	Duro o Suave	D	D	D	
Espesor:	> 5mm o < 5 mm	<5	<5	<5	
Resistencia compresión simple:					
Flujo:					
ALTERACION DE PAREDES DE DISCONTINUIDAD					
Fresca					
Ligeramente alterada					
Moderada		X	X	X	
Fuerte					
Descompuesta					
OBSERVACIONES					
* Tomado del valor promedio de RCS (Tabla 6.5, anexo 6)					
** Determinado por la relación RQD = 115-3.3 Jv					

CLASIFICACION GEOMECANICA
Formulario de Datos de Campo - Sistema RMR

Proyecto : Tunel de Conduccion San Francisco
 Unidad Litológica: Gneis y esquistos de cuarzo-feldespato-biotita
 Tipo de Roca : Esquisto de plagioclasa-cuarzo-micas
 Realizado por: Patricio Zamora
 Sitio de Observación: 13

RESISTENCIA DE LA ROCA INTACTA			RQD			
Clase	Resistencia a la Compresión Simple Mpa	Indice de Carga Puntual. Mpa	Excelente	90 - 100 %		
Muy Alta	> 250	>10	Muy bueno	75 - 89 %		
Alta	100 - 250	4 - 10	Regular	50 - 74 %	66 **	
Media	50 - 100	25 *	Malo	25 - 49 %		
Baja	25 - 50		Muy Malo	< 25 %		
Muy Baja	< 25	< 1				

ORIENTACION DE LAS DISCONTINUIDADES							
Sistema 1	F1	Rumbo	N15W	Buzamiento	80SW	Buz/Dir. Buz	80/255
Sistema 2	J1	Rumbo	N80E	Buzamiento	65NW	Buz/Dir. Buz	65/350
Sistema 3	J5	Rumbo	N70E	Buzamiento	35SE	Buz/Dir. Buz	35/165
Sistema 4		Rumbo		Buzamiento		Buz/Dir. Buz	

ESPACIAMIENTO DE LAS DISCONTINUIDADES					
		Sistema 1	Sistema 2	Sistema 3	Sistema 4
Muy Ancho	> 2 m				
Ancho	0.60 a 2 m				
Moderado	0.20 a 0.60 m		0.40	0.40	
Cerrado	0.06 a 0.20 m	0.10			
Muy Cerrado	< 0.06 m				

CONDICIONES DEL AGUA					
Flujo por 10 m de longitud de Túnel	CONDICIONES GENERALES:				
	Seco :		X		X
Presión de Agua	Humedo:	X			
	Mojado:				
	Goteo:				
	Flujo:				

TENSIONES "IN SITU"					

		CONDICION DE LAS DISCONTINUIDADES			
		Sistema 1	Sistema 2	Sistema 3	Sistema 4
CONTINUIDAD O PERSISTENCIA					
Muy Baja	< 1 m				
Baja	1 - 3 m				
Media	3 - 10 m				
Alta	10 - 20 m	X	X	X	
Muy Alta	> 20 m				
ABERTURA O SEPARACION					
Muy Cerrada	< 0.1 mm			X	
Cerrada	0.1 - 0.5 mm		X		
Moderada	0.5 - 2.5 mm				
Abierta	2.5 - 10 mm	X			
Muy Abierta	> 10 mm				
RUGOSIDAD Y PLANARIDAD (Superficies planares P, Ondulados O, Escalonados E)					
Muy Rugosas					
Rugosas					
Ligeramente rugosas			P		P
Lisas		P			
Espejo de fallas					
RELLENO			NO		NO
Tipo:	Duro o Suave	S			
Espesor:	> 5mm o < 5 mm	>			
Resistencia compresión simple:					
Flujo:					
ALTERACION DE PAREDES DE DISCONTINUIDAD					
Fresca					
Ligeramente alterada					
Moderada			X		X
Fuerte					
Descompuesta		X			
OBSERVACIONES					
Zona de falla, intercalacion de esquistos micaceos.					
* Estimación aproximada de RCS, en base a índices de campo (Tabla 6.8, anexo 6)					
** Determinado por la relación RQD = 115-3.3 Jv					

CLASIFICACION GEOMECANICA
Formulario de Datos de Campo - Sistema RMR

Proyecto : Tunel de Conduccion San Francisco
 Unidad Litológica: Gneis y esquistos de cuarzo-feldespato-biotita
 Tipo de Roca : Gneis de cuarzo-plagioclasa-micas-anfibol
 Realizado por: Patricio Zamora
 Sitio de Observación: 14

RESISTENCIA DE LA ROCA INTACTA			RQD	
Clase	Resistencia a la Compresión Simple Mpa	Indice de Carga Puntual. Mpa	Excelente	84 **
Muy Alta	> 250	>10	90 - 100 %	
Alta	100 - 250	4 - 10	75 - 89 %	
Media	50 - 100	2 - 4	50 - 74 %	
Baja	25 - 50	1 - 2	25 - 49 %	
Muy Baja	< 25	< 1	< 25 %	
			Muy Malo	
			Regular	
			Malo	
			Muy Malo	
			Excelente	
			Muy bueno	
			Regular	
			Muy Malo	
			Malo	
			Muy Malo	
			Excelente	
			Muy bueno	
			Regular	
			Muy Malo	
			Malo	
			Muy Malo	
			Excelente	
			Muy bueno	
			Regular	
			Muy Malo	
			Malo	
			Muy Malo	
			Excelente	
			Muy bueno	
			Regular	
			Muy Malo	
			Malo	
			Muy Malo	
			Excelente	
			Muy bueno	
			Regular	
			Muy Malo	
			Malo	
			Muy Malo	
			Excelente	
			Muy bueno	
			Regular	
			Muy Malo	
			Malo	
			Muy Malo	
			Excelente	
			Muy bueno	
			Regular	
			Muy Malo	
			Malo	
			Muy Malo	
			Excelente	
			Muy bueno	
			Regular	
			Muy Malo	
			Malo	
			Muy Malo	
			Excelente	
			Muy bueno	
			Regular	
			Muy Malo	
			Malo	
			Muy Malo	
			Excelente	
			Muy bueno	
			Regular	
			Muy Malo	
			Malo	
			Muy Malo	
			Excelente	
			Muy bueno	
			Regular	
			Muy Malo	
			Malo	
			Muy Malo	
			Excelente	
			Muy bueno	
			Regular	
			Muy Malo	
			Malo	
			Muy Malo	
			Excelente	
			Muy bueno	
			Regular	
			Muy Malo	
			Malo	
			Muy Malo	
			Excelente	
			Muy bueno	
			Regular	
			Muy Malo	
			Malo	
			Muy Malo	
			Excelente	
			Muy bueno	
			Regular	
			Muy Malo	
			Malo	
			Muy Malo	
			Excelente	
			Muy bueno	
			Regular	
			Muy Malo	
			Malo	
			Muy Malo	
			Excelente	
			Muy bueno	
			Regular	
			Muy Malo	
			Malo	
			Muy Malo	
			Excelente	
			Muy bueno	
			Regular	
			Muy Malo	
			Malo	
			Muy Malo	
			Excelente	
			Muy bueno	
			Regular	
			Muy Malo	
			Malo	
			Muy Malo	
			Excelente	
			Muy bueno	
			Regular	
			Muy Malo	
			Malo	
			Muy Malo	
			Excelente	
			Muy bueno	
			Regular	
			Muy Malo	
			Malo	
			Muy Malo	
			Excelente	
			Muy bueno	
			Regular	
			Muy Malo	
			Malo	
			Muy Malo	
			Excelente	
			Muy bueno	
			Regular	
			Muy Malo	
			Malo	
			Muy Malo	
			Excelente	
			Muy bueno	
			Regular	
			Muy Malo	
			Malo	
			Muy Malo	
			Excelente	
			Muy bueno	
			Regular	
			Muy Malo	
			Malo	
			Muy Malo	
			Excelente	
			Muy bueno	
			Regular	
			Muy Malo	
			Malo	
			Muy Malo	
			Excelente	
			Muy bueno	
			Regular	
			Muy Malo	
			Malo	
			Muy Malo	
			Excelente	
			Muy bueno	
			Regular	
			Muy Malo	
			Malo	
			Muy Malo	
			Excelente	
			Muy bueno	
			Regular	
			Muy Malo	
			Malo	
			Muy Malo	
			Excelente	
			Muy bueno	
			Regular	
			Muy Malo	
			Malo	
			Muy Malo	
			Excelente	
			Muy bueno	
			Regular	
			Muy Malo	
			Malo	
			Muy Malo	
			Excelente	
			Muy bueno	
			Regular	
			Muy Malo	
			Malo	
			Muy Malo	
			Excelente	
			Muy bueno	
			Regular	
			Muy Malo	
			Malo	
			Muy Malo	
			Excelente	
			Muy bueno	
			Regular	
			Muy Malo	
			Malo	
			Muy Malo	
			Excelente	
			Muy bueno	
			Regular	
			Muy Malo	
			Malo	
			Muy Malo	
			Excelente	
			Muy bueno	
			Regular	
			Muy Malo	
			Malo	
			Muy Malo	
			Excelente	
			Muy bueno	
			Regular	
			Muy Malo	
			Malo	
			Muy Malo	
			Excelente	
			Muy bueno	
			Regular	
			Muy Malo	
			Malo	
			Muy Malo	
			Excelente	
			Muy bueno	
			Regular	
			Muy Malo	
			Malo	
			Muy Malo	
			Excelente	
			Muy bueno	
			Regular	
			Muy Malo	
			Malo	
			Muy Malo	
			Excelente	
			Muy bueno	
			Regular	
			Muy Malo	
			Malo	
			Muy Malo	
			Excelente	
			Muy bueno	
			Regular	
			Muy Malo	
			Malo	
			Muy Malo	
			Excelente	
			Muy bueno	
			Regular	
			Muy Malo	
			Malo	
			Muy Malo	
			Excelente	
			Muy bueno	
			Regular	
			Muy Malo	
			Malo	
			Muy Malo	
			Excelente	
			Muy bueno	
			Regular	
			Muy Malo	
			Malo	
			Muy Malo	
			Excelente	
			Muy bueno	
			Regular	
			Muy Malo	
			Malo	
			Muy Malo	
			Excelente	
			Muy bueno	
			Regular	
			Muy Malo	
			Malo	
			Muy Malo	
			Excelente	
			Muy bueno	
			Regular	
			Muy Malo	
			Malo	
			Muy Malo	
			Excelente	
			Muy bueno	
			Regular	
			Muy Malo	
			Malo	
			Muy Malo	
			Excelente	
			Muy bueno	
			Regular	
			Muy Malo	
			Malo	
			Muy Malo	
			Excelente	
			Muy bueno	
			Regular	
			Muy Malo	
			Malo	
			Muy Malo	
			Excelente	
			Muy bueno	
			Regular	
			Muy Malo	
			Malo	
			Muy Malo	
			Excelente	
			Muy bueno	
			Regular	
			Muy Malo	
			Malo	
			Muy Malo	
			Excelente	
			Muy bueno	
			Regular	
			Muy Malo	
			Malo	
			Muy Malo	
			Excelente	
			Muy bueno	
			Regular	
			Muy Malo	
			Malo	
			Muy Malo	
			Excelente	
			Muy bueno	
			Regular	
			Muy Malo	
			Malo	
			Muy Malo	
			Excelente	
			Muy bueno	
			Regular	
			Muy Malo	
			Malo	
			Muy Malo	
			Excelente	
			Muy bueno	
			Regular	
			Muy Malo	
			Malo	
			Muy Malo	
			Excelente	
			Muy bueno	
			Regular	
			Muy Malo	
			Malo	
			Muy Malo	
			Excelente	
			Muy bueno	
			Regular	
			Muy Malo	
			Malo	
			Muy Malo	
			Excelente	
			Muy bueno	
			Regular	
			Muy Malo	
			Malo	
			Muy Malo	
			Excelente	
			Muy bueno	
			Regular	
			Muy Malo	
			Malo	
			Muy Malo	
			Excelente	
			Muy bueno	
			Regular	
			Muy Malo	
			Malo	
			Muy Malo	
			Excelente	
			Muy bueno	
			Regular	
			Muy Malo	
			Malo	
			Muy Malo	
			Excelente	
			Muy bueno	
			Regular	
			Muy Malo	
			Malo	
			Muy Malo	
			Excelente	
			Muy bueno	
			Regular	
			Muy Malo	
			Malo	
			Muy Malo	
			Excelente	
			Muy bueno	
			Regular	
			Muy Malo	
			Malo	
			Muy Malo	
			Excelente	
			Muy bueno	
			Regular	
			Muy Malo	
			Malo	
			Muy Malo	
			Excelente	
			Muy bueno	
			Regular	
			Muy Malo	
			Malo	
			Muy Malo	
			Excelente	

CLASIFICACION GEOMECANICA
Formulario de Datos de Campo - Sistema RMR

Proyecto : Tunel de Conduccion San Francisco
 Unidad Litológica: Gneis y esquistos de cuarzo-feldespato-biotita
 Tipo de Roca : Geis-granodiorita.
 Realizado por: Patricio Zamora
 Sitio de Observación: 15

RESISTENCIA DE LA ROCA INTACTA			RQD	
Clase	Resistencia a la Compresión Simple Mpa	Indice de Carga Puntual. Mpa		
Muy Alta	> 250	>10	Excelente	90 - 100 %
Alta	100 - 250	4 - 10	Muy bueno	75 - 89 %
Media	50 - 100	2 - 4	Regular	50 - 74 %
Baja	25 - 50	1 - 2	Malo	25 - 49 %
Muy Baja	< 25	< 1	Muy Malo	< 25 %
			RQD = 115 - 3.5 Jv	
			Jv = 1 /Es1 + 1 /Es2 + 1/ Es3+ 1/Esn	
			ES1=0.3, ES2=0.4, ES3=0.4, ES4=0.8	

ORIENTACION DE LAS DISCONTINUIDADES						
Sistema 1	F1	Rumbo	N15W	Buzamiento	75SW	Buz/Dir. Buz
Sistema 2	J1	Rumbo	N80E	Buzamiento	85NW	Buz/Dir. Buz
Sistema 3	J6	Rumbo	N60W	Buzamiento	85NE	Buz/Dir. Buz
Sistema 4	J5	Rumbo	N55E	Buzamiento	40NW	Buz/Dir. Buz

ESPACIAMIENTO DE LAS DISCONTINUIDADES				
		Sistema 1	Sistema 2	Sistema 3
Muy Ancho	> 2 m			
Ancho	0.60 a 2 m			0.8
Moderado	0.20 a 0.60 m	0.30	0.40	0.40
Cerrado	0.06 a 0.20 m			
Muy Cerrado	< 0.06 m			

CONDICIONES DEL AGUA	
Flujo por 10 m de longitud de Túnel	CONDICIONES GENERALES:
	Seco : _____
Presión de Agua	Humedo: _____ X _____ X _____ X
	Mojado: _____
	Goteo: _____
	Flujo: _____

TENSIONES "IN SITU"

		CONDICION DE LAS DISCONTINUIDADES			
		Sistema 1	Sistema 2	Sistema 3	Sistema 4
CONTINUIDAD O PERSISTENCIA					
Muy Baja	< 1 m				
Baja	1 - 3 m			X	X
Media	3 - 10 m	X	X		
Alta	10 - 20 m				
Muy Alta	> 20 m				
ABERTURA O SEPARACION					
Muy Cerrada	< 0.1 mm	X	X	X	X
Cerrada	0.1 - 0.5 mm				
Moderada	0.5 - 2.5 mm				
Abierta	2.5 - 10 mm				
Muy Abierta	> 10 mm				
RUGOSIDAD Y PLANARIDAD (Superficies planares P, Ondulados O, Escalonados E)					
Muy Rugosas					
Rugosas			X	X	X
Ligeramente rugosas		X			
Lisas					
Espejo de fallas					
RELLENO		NO	NO	NO	NO
Tipo:	Duro o Suave				
Espesor:	> 5mm o < 5 mm				
Resistencia compresión simple:					
Flujo:					
ALTERACION DE PAREDES DE DISCONTINUIDAD					
Fresca					
Ligeramente alterada					
Moderada		X	X	X	X
Fuerte					
Descompuesta					
OBSERVACIONES					
* Tomado del valor promedio de RCS (Tabla 6.5, anexo 6)					
** Determinado por la relación RQD = 115-3.3 Jv					

CLASIFICACION GEOMECANICA
Formulario de Datos de Campo - Sistema RMR

Proyecto : Tunel de Conduccion San Francisco
 Unidad Litológica: Gneis y esquistos cloríticos
 Tipo de Roca : Gneis de cuarzo azul-plagioclasa-biotita-anfibol
 Realizado por: Patricio Zamora
 Sitio de Observación: 16

RESISTENCIA DE LA ROCA INTACTA			RQD	
Clase	Resistencia a la Compresión Simple Mpa	Indice de Carga Puntual. Mpa		
Muy Alta	> 250	>10	Excelente 90 - 100 %	
Alta	100 - 250	4 - 10	Muy bueno 75 - 89 %	
Media	50 - 100	2 - 4	Regular 50 - 74 %	64 **
Baja	25 - 50	1 - 2	Malo 25 - 49 %	
Muy Baja	< 25	< 1	Muy Malo < 25 %	
			RQD = 115 - 3.5 Jv	
			Jv = 1/Es1 + 1/Es2 + 1/Es3 ...+ 1/EsN	
			ES1=0.15, ES2=0.3, ES3=0.35, ES4=0.4	

ORIENTACION DE LAS DISCONTINUIDADES						
Sistema 1	F3	Rumbo	N16E	Buzamiento	74NW	Buz/Dir. Buz 74/286
Sistema 2	J2	Rumbo	N65W	Buzamiento	55SW	Buz/Dir. Buz 55/205
Sistema 3	J1	Rumbo	N50E	Buzamiento	65NW	Buz/Dir. Buz 65/320
Sistema 4	J4	Rumbo	N25W	Buzamiento	78SW	Buz/Dir. Buz 78/245

ESPACIAMIENTO DE LAS DISCONTINUIDADES					
		Sistema 1	Sistema 2	Sistema 3	Sistema 4
Muy Ancho	> 2 m				
Ancho	0.60 a 2 m				
Moderado	0.20 a 0.60 m		0.30	0.35	0.4
Cerrado	0.06 a 0.20 m	0.15			
Muy Cerrado	< 0.06 m				

CONDICIONES DEL AGUA				
Flujo por 10 m de longitud de Túnel	CONDICIONES GENERALES:			
	Seco :			
Presión de Agua	Humedo:	X	X	X
	Mojado:			
	Goteo:			
Flujo:				

TENSIONES "IN SITU"				

		CONDICION DE LAS DISCONTINUIDADES			
		Sistema 1	Sistema 2	Sistema 3	Sistema 4
CONTINUIDAD O PERSISTENCIA					
Muy Baja	< 1 m				
Baja	1 - 3 m			X	X
Media	3 - 10 m	X	X		
Alta	10 - 20 m				
Muy Alta	> 20 m				
ABERTURA O SEPARACION					
Muy Cerrada	< 0.1 mm	X			X
Cerrada	0.1 - 0.5 mm		X	X	
Moderada	0.5 - 2.5 mm				
Abierta	2.5 - 10 mm				
Muy Abierta	> 10 mm				
RUGOSIDAD Y PLANARIDAD (Superficies planares P, Ondulados O, Escalonados E)					
Muy Rugosas					
Rugosas					
Ligeramente rugosas		P	P	P	P
Lisas					
Espejo de fallas					
RELLENO		NO	NO	NO	NO
Tipo:	Duro o Suave				
Espesor:	> 5mm o < 5 mm				
Resistencia compresión simple:					
Flujo:					
ALTERACION DE PAREDES DE DISCONTINUIDAD					
Fresca					
Ligeramente alterada					
Moderada		X	X	X	X
Fuerte					
Descompuesta					
OBSERVACIONES	Afloramiento a 30 m de una falla, contacto fallado con unidad 5				
* Tomado del valor promedio de RCS (Tabla 6.6, anexo 6)					
** Determinado por la relación RQD = 115-3.3 Jv					

CLASIFICACION GEOMECANICA
Formulario de Datos de Campo - Sistema RMR

Proyecto : Tunel de Conduccion San Francisco
 Unidad Litológica: Gneis y esquistos cloríticos
 Tipo de Roca : Gneis de cuarzo-biotita-clorita, intercalado con cuarzo lechoso
 Realizado por: Patricio Zamora
 Punto de Observación: 17

RESISTENCIA DE LA ROCA INTACTA			RQD	
Clase	Resistencia a la Compresión Simple Mpa	Indice de Carga Puntual. Mpa		
Muy Alta	> 250	>10	Excelente	90 - 100 %
Alta	100 - 250	4 - 10	Muy bueno	75 - 89 %
Media	50 - 100	2 - 4	Regular	50 - 74 %
Baja	25 - 50	1 - 2	Malo	25 - 49 %
Muy Baja	< 25	< 1	Muy Malo	< 25 %
			RQD = 115 - 3.3 Jv	
			Jv = 1/Es1 + 1/Es2 + 1/Es3+ 1/EsN	
			ES1=0.2, ES2=0.2, ES3=0.6, ES4=0.6	

ORIENTACION DE LAS DISCONTINUIDADES						
Sistema 1	F1	Rumbo	N20W	Buzamiento	78SW	Buz/Dir. Buz 78/250
Sistema 2	J4	Rumbo	N45E	Buzamiento	72SE	Buz/Dir. Buz 72/135
Sistema 3	J2	Rumbo	N85E	Buzamiento	65SE	Buz/Dir. Buz 65/175
Sistema 4	J6	Rumbo	N50W	Buzamiento	72NE	Buz/Dir. Buz 72/040

ESPACIAMIENTO DE LAS DISCONTINUIDADES					
		Sistema 1	Sistema 2	Sistema 3	Sistema 4
Muy Ancho	> 2 m				
Ancho	0.60 a 2 m				
Moderado	0.20 a 0.60 m			0.60	0.60
Cerrado	0.06 a 0.20 m	0.20	0.20		
Muy Cerrado	< 0.06 m				

CONDICIONES DEL AGUA					
Flujo por 10 m de longitud de Túnel	CONDICIONES GENERALES:				
	Seco :	X	X	X	X
Presión de Agua	Humedo:				
	Mojado:				
	Goteo:				
	Flujo:				

TENSIONES "IN SITU"					

		CONDICION DE LAS DISCONTINUIDADES			
		Sistema 1	Sistema 2	Sistema 3	Sistema 4
CONTINUIDAD O PERSISTENCIA					
Muy Baja	< 1 m				
Baja	1 - 3 m				
Media	3 - 10 m			X	X
Alta	10 - 20 m	X	X		
Muy Alta	> 20 m				
ABERTURA O SEPARACION					
Muy Cerrada	< 0.1 mm				
Cerrada	0.1 - 0.5 mm			X	X
Moderada	0.5 - 2.5 mm	X	X		
Abierta	2.5 - 10 mm				
Muy Abierta	> 10 mm				
RUGOSIDAD Y PLANARIDAD (Superficies planares P, Ondulados O, Escalonados E)					
Muy Rugosas					
Rugosas					
Ligeramente rugosas				P	P
Lisas					
Espejo de fallas		P	P		
RELLENO				NO	NO
Tipo:	Duro o Suave	S	S		
Espesor:	> 5mm o < 5 mm	>	>		
Resistencia compresión simple:					
Flujo:					
ALTERACION DE PAREDES DE DISCONTINUIDAD					
Fresca					
Ligeramente alterada					
Moderada				X	X
Fuerte		X	X		
Descompuesta					
OBSERVACIONES					
Zona de falla					
* Estimación aproximada de RCS, en base a índices de campo (Tabla 6.8, anexo 6)					
** Determinado por la relación RQD = 115-3.3 Jv					

CLASIFICACION GEOMECANICA
Formulario de Datos de Campo - Sistema RMR

Proyecto : Tunel de Conduccion San Francisco
 Unidad Litológica: Gneis y esquistos cloríticos
 Tipo de Roca : Gneis de cuarzo-clorita-biotita
 Realizado por: Patricio Zamora
 Sitio de Observación: 18

RESISTENCIA DE LA ROCA INTACTA			RQD		
Clase	Resistencia a la Compresión Simple Mpa	Indice de Carga Puntual. Mpa	Excelente	90 - 100 %	91 **
Muy Alta	> 250	>10	Muy bueno	75 - 89 %	
Alta	100 - 250	4 - 10	Regular	50 - 74 %	
Media	50 - 100	2 - 4	Malo	25 - 49 %	
Baja	25 - 50	1 - 2	Muy Malo	< 25 %	
Muy Baja	< 25	< 1	RQD = 115 - 3.5 Jv		
			Jv = 1/Es1 + 1/Es2 + 1/Es3+ 1/EsN		
			ES1=0.5 ES2=0.4 ES3=0.35		

ORIENTACION DE LAS DISCONTINUIDADES						
Sistema 1	F3	Rumbo	N-S	Buzamiento	70W	Buz/Dir. Buz 70/270
Sistema 2	J1	Rumbo	N70W	Buzamiento	75NE	Buz/Dir. Buz 75/020
Sistema 3	J4	Rumbo	N60E	Buzamiento	70SE	Buz/Dir. Buz 70/150
Sistema 4		Rumbo		Buzamiento		Buz/Dir. Buz

ESPACIAMIENTO DE LAS DISCONTINUIDADES					
		Sistema 1	Sistema 2	Sistema 3	Sistema 4
Muy Ancho	> 2 m				
Ancho	0.60 a 2 m				
Moderado	0.20 a 0.60 m	0.50	0.40	0.35	
Cerrado	0.06 a 0.20 m				
Muy Cerrado	< 0.06 m				

CONDICIONES DEL AGUA					
Flujo por 10 m de longitud de Túnel	CONDICIONES GENERALES:				
	Seco :				
	Humedo:	X	X	X	
Presión de Agua	Mojado:				
	Goteo:				
	Flujo:				

TENSIONES "IN SITU"					

		CONDICION DE LAS DISCONTINUIDADES			
		Sistema 1	Sistema 2	Sistema 3	Sistema 4
CONTINUIDAD O PERSISTENCIA					
Muy Baja	< 1 m				
Baja	1 - 3 m		X	X	
Media	3 - 10 m	X			
Alta	10 - 20 m				
Muy Alta	> 20 m				
ABERTURA O SEPARACION					
Muy Cerrada	< 0.1 mm				
Cerrada	0.1 - 0.5 mm	X	X	X	
Moderada	0.5 - 2.5 mm				
Abierta	2.5 - 10 mm				
Muy Abierta	> 10 mm				
RUGOSIDAD Y PLANARIDAD (Superficies planares P, Ondulados O, Escalonados E)					
Muy Rugosas					
Rugosas					
Ligeramente rugosas		P	P	P	
Lisas					
Espejo de fallas					
RELLENO		NO	NO	NO	
Tipo:	Duro o Suave				
Espesor:	> 5mm o < 5 mm				
Resistencia compresión simple:					
Flujo:					
ALTERACION DE PAREDES DE DISCONTINUIDAD					
Fresca					
Ligeramente alterada					
Moderada		X	X	X	
Fuerte					
Descompuesta					
OBSERVACIONES					
* Tomado del valor promedio de RCS (Tabla 6.6, anexo 6)					
** Determinado por la relación RQD = 115-3.3 Jv					

CLASIFICACION GEOMECANICA
Formulario de Datos de Campo - Sistema RMR

Proyecto : Tunel de Conduccion San Francisco
 Unidad Litológica: Gneis y esquistos cloríticos
 Tipo de Roca : Gneis intercalado con esquistos cloríticos
 Realizado por: Patricio Zamora
 Sitio de Observación: 20

RESISTENCIA DE LA ROCA INTACTA			RQD	
Clase	Resistencia a la Compresión Simple Mpa	Indice de Carga Puntual. Mpa		
Muy Alta	> 250	>10	Excelente	90 - 100 %
Alta	100 - 250	4 - 10	Muy bueno	75 - 89 %
Media	50 - 100	2 - 4	Regular	50 - 74 %
Baja	25 - 50	1 - 2	Malo	25 - 49 %
Muy Baja	< 25	< 1	Muy Malo	< 25 %
			RQD = 115 - 3.5 Jv	
			Jv = 1 / Es1 + 1 / Es2 + 1 / Es3 + ... + 1 / Esn	
			ES1=0.15, ES2=0.3, ES3=0.2, ES4=0.15	

ORIENTACION DE LAS DISCONTINUIDADES						
Sistema 1	F1	Rumbo	N2W	Buzamiento	67SW	Buz/Dir. Buz 67/268
Sistema 2	J3	Rumbo	N82W	Buzamiento	85SW	Buz/Dir. Buz 85/188
Sistema 3	J5	Rumbo	N65W	Buzamiento	30SW	Buz/Dir. Buz 30/205
Sistema 4	J4	Rumbo	N22E	Buzamiento	82SE	Buz/Dir. Buz 82/112

ESPACIAMIENTO DE LAS DISCONTINUIDADES				
	Sistema 1	Sistema 2	Sistema 3	Sistema 4
Muy Ancho	> 2 m			
Ancho	0.60 a 2 m			
Moderado	0.20 a 0.60 m	0.30	0.20	
Cerrado	0.06 a 0.20 m	0.15		0.15
Muy Cerrado	< 0.06 m			

CONDICIONES DEL AGUA				
Flujo por 10 m de longitud de Túnel	CONDICIONES GENERALES:			
	Seco :	X	X	X
Presión de Agua	Humedo:			
	Mojado:			
	Goteo:			
Flujo:				

TENSIONES "IN SITU"

		CONDICION DE LAS DISCONTINUIDADES			
		Sistema 1	Sistema 2	Sistema 3	Sistema 4
CONTINUIDAD O PERSISTENCIA					
Muy Baja	< 1 m				
Baja	1 - 3 m		X	X	X
Media	3 - 10 m	X			
Alta	10 - 20 m				
Muy Alta	> 20 m				
ABERTURA O SEPARACION					
Muy Cerrada	< 0.1 mm				
Cerrada	0.1 - 0.5 mm		X		X
Moderada	0.5 - 2.5 mm	X		X	
Abierta	2.5 - 10 mm				
Muy Abierta	> 10 mm				
RUGOSIDAD Y PLANARIDAD (Superficies planares P, Ondulados O, Escalonados E)					
Muy Rugosas					
Rugosas					
Ligeramente rugosas					
Lisas		P	P	P	P
Espejo de fallas					
RELLENO			NO	NO	NO
Tipo:	Duro o Suave	S			
Espesor:	> 5mm o < 5 mm	>			
Resistencia compresión simple:					
Flujo:					
ALTERACION DE PAREDES DE DISCONTINUIDAD					
Fresca					
Ligeramente alterada					
Moderada			X	X	X
Fuerte		X			
Descompuesta					
OBSERVACIONES					
Rio Machay, Zona de falla, se observa paquetes silificados de 10 a 20 cm, con direccion de la foliacion					
* Estimación aproximada de RCS, en base a indices de campo (Tabla 6.8, anexo 6)					
** Determinado por la relación RQD = 115-3.3 Jv					

CLASIFICACION GEOMECANICA
Formulario de Datos de Campo - Sistema RMR

Proyecto : Tunel de Conduccion San Francisco
 Unidad Litológica: Granito Orientado
 Tipo de Roca : Gneis de cuarzo y biotita
 Realizado por: Patricio Zamora

Sitio de Observación: 21

RESISTENCIA DE LA ROCA INTACTA			RQD		
Clase	Resistencia a la Compresión Simple Mpa	Indice de Carga Puntual. Mpa	Excelente	90 - 100 %	90 **
Muy Alta	> 250	>10	Muy bueno	75 - 89 %	
Alta	100 - 250	4 - 10	Regular	50 - 74 %	
Media	50 - 100	2 - 4	Malo	25 - 49 %	
Baja	25 - 50	1 - 2	Muy Malo	< 25 %	
Muy Baja	< 25	< 1	RQD = 115 - 3.5 Jv Jv = 1 /Es1 + 1 /Es2 + 1/ Es3+ 1/Esn ES1=0.2 ES2=2 ES3=0.5		

ORIENTACION DE LAS DISCONTINUIDADES							
Sistema 1	F2	Rumbo	N25E	Buzamiento	86SE	Buz/Dir. Buz	86/115
Sistema 2	J2	Rumbo	N70E	Buzamiento	74SE	Buz/Dir. Buz	74/160
Sistema 3	J1	Rumbo	N60E	Buzamiento	62NW	Buz/Dir. Buz	62/330
Sistema 4							

ESPACIAMIENTO DE LAS DISCONTINUIDADES					
		Sistema 1	Sistema 2	Sistema 3	Sistema 4
Muy Ancho	> 2 m				
Ancho	0.60 a 2 m		2.00		
Moderado	0.20 a 0.60 m	0.20		0.50	
Cerrado	0.06 a 0.20 m				
Muy Cerrado	< 0.06 m				

CONDICIONES DEL AGUA					
Flujo por 10 m de longitud de Túnel	CONDICIONES GENERALES:				
	Seco :	X	X	X	
Presión de Agua	Humedo:				
	Mojado:				
	Goteo:				
	Flujo:				

TENSIONES "IN SITU"					

		CONDICION DE LAS DISCONTINUIDADES			
		Sistema 1	Sistema 2	Sistema 3	Sistema 4
CONTINUIDAD O PERSISTENCIA					
Muy Baja	< 1 m				
Baja	1 - 3 m				
Media	3 - 10 m		X	X	
Alta	10 - 20 m	X			
Muy Alta	> 20 m				
ABERTURA O SEPARACION					
Muy Cerrada	< 0.1 mm				
Cerrada	0.1 - 0.5 mm	X	X	X	
Moderada	0.5 - 2.5 mm				
Abierta	2.5 - 10 mm				
Muy Abierta	> 10 mm				
RUGOSIDAD Y PLANARIDAD (Superficies planares P, Ondulados O, Escalonados E)					
Muy Rugosas					
Rugosas					
Ligeramente rugosas		P	P	P	
Lisas					
Espejo de fallas					
RELLENO					
Tipo:	Duro o Suave	NO	NO	NO	
Espesor:	> 5mm o < 5 mm				
Resistencia compresión simple:					
Flujo:					
ALTERACION DE PAREDES DE DISCONTINUIDAD					
Fresca					
Ligeramente alterada			X	X	
Moderada		X			
Fuerte					
Descompuesta					
OBSERVACIONES					
Contacto transicional con Unidad de Gneis y esquistos de clorita					
* Tomado del valor promedio de RCS (Tabla 6.7, anexo 6)					
** Determinado por la relación RQD = 115-3.3 Jv					

CLASIFICACION GEOMECANICA
Formulario de Datos de Campo - Sistema RMR

Proyecto : Tunel de Conduccion San Francisco
 Unidad Litológica: Granito Orientado
 Tipo de Roca : Granito con ligera orientacion de biotita
 Realizado por: Patricio Zamora
 Sitio de Observación: 22

RESISTENCIA DE LA ROCA INTACTA			RQD		
Clase	Resistencia a la Compresión Simple Mpa	Indice de Carga Puntual. Mpa	Excelente	90 - 100 %	100 **
Muy Alta	> 250	>10	Muy bueno	75 - 89 %	
Alta	100 - 250	4 - 10	Regular	50 - 74 %	
Media	50 - 100	2 - 4	Malo	25 - 49 %	
Baja	25 - 50	1 - 2	Muy Malo	< 25 %	
Muy Baja	< 25	< 1	RQD = 115 - 3.3 Jv Jv = 1 /Es1 + 1 /Es2 + 1/ Es3+ 1/Esn ES1=0.5, ES2=2, ES3=2.5, ES4=1		

ORIENTACION DE LAS DISCONTINUIDADES							
Sistema 1	F1	Rumbo	N20E	Buzamiento	68NW	Buz/Dir. Buz	68/290
Sistema 2	J1	Rumbo	N77E	Buzamiento	52NW	Buz/Dir. Buz	52/347
Sistema 3	J5	Rumbo	N55E	Buzamiento	44SE	Buz/Dir. Buz	44/145
Sistema 4	J3	Rumbo	N77W	Buzamiento	80SW	Buz/Dir. Buz	80/193

ESPACIAMIENTO DE LAS DISCONTINUIDADES					
		Sistema 1	Sistema 2	Sistema 3	Sistema 4
Muy Ancho	> 2 m			2.50	
Ancho	0.60 a 2 m		2.00		1
Moderado	0.20 a 0.60 m	0.50			
Cerrado	0.06 a 0.20 m				
Muy Cerrado	< 0.06 m				

CONDICIONES DEL AGUA	
Flujo por 10 m de longitud de Túnel	CONDICIONES GENERALES:
	Seco : _____
Presión de Agua	Humedo: _____
	Mojado: _____ X _____ X _____ X
	Goteo: _____ X _____ _____ _____
	Flujo: _____

TENSIONES "IN SITU"

		CONDICION DE LAS DISCONTINUIDADES			
		Sistema 1	Sistema 2	Sistema 3	Sistema 4
CONTINUIDAD O PERSISTENCIA					
Muy Baja	< 1 m				
Baja	1 - 3 m				
Media	3 - 10 m	X		X	X
Alta	10 - 20 m				
Muy Alta	> 20 m		X		
ABERTURA O SEPARACION					
Muy Cerrada	< 0.1 mm				
Cerrada	0.1 - 0.5 mm	X		X	X
Moderada	0.5 - 2.5 mm		X		
Abierta	2.5 - 10 mm				
Muy Abierta	> 10 mm				
RUGOSIDAD Y PLANARIDAD (Superficies planares P, Ondulados O, Escalonados E)					
Muy Rugosas					
Rugosas					
Ligeramente rugosas					
Lisas		P	P	P	P
Espejo de fallas					
RELLENO		NO	NO	NO	NO
Tipo:	Duro o Suave				
Espesor:	> 5mm o < 5 mm				
Resistencia compresión simple:					
Flujo:					
ALTERACION DE PAREDES DE DISCONTINUIDAD					
Fresca					
Ligeramente alterada		X	X	X	X
Moderada					
Fuerte					
Descompuesta					
OBSERVACIONES					
* Tomado del valor promedio de RCS (Tabla 6.7, anexo 6)					
** Determinado por la relación RQD = 115-3.3 Jv					

CLASIFICACION GEOMECANICA
Formulario de Datos de Campo - Sistema RMR

Proyecto : Tunel de Conduccion San Francisco
 Unidad Litológica: Granito Orientado
 Tipo de Roca : Granito
 Realizado por: Patricio Zamora
 Sitio de Observación: 23

RESISTENCIA DE LA ROCA INTACTA			RQD		
Clase	Resistencia a la Compresión Simple Mpa	Indice de Carga Puntual. Mpa	Excelente	90 - 100 %	100 **
Muy Alta	> 250	>10	Muy bueno	75 - 89 %	
Alta	100 - 250	4 - 10	Regular	50 - 74 %	
Media	50 - 100	2 - 4	Malo	25 - 49 %	
Baja	25 - 50	1 - 2	Muy Malo	< 25 %	
Muy Baja	< 25	< 1	RQD = 115 - 3.3 Jv		
			Jv = 1 /Es1 + 1 /Es2 + 1/ Es3+ 1/Esn		
			ES1=0.4 ES2=1 ES3=1		

ORIENTACION DE LAS DISCONTINUIDADES							
Sistema 1	F1	Rumbo	N15W	Buzamiento	68SW	Buz/Dir. Buz	68/255
Sistema 2	J3	Rumbo	N75W	Buzamiento	80SW	Buz/Dir. Buz	80/195
Sistema 3	J1	Rumbo	N70E	Buzamiento	55NW	Buz/Dir. Buz	55/340
Sistema 4		Rumbo		Buzamiento		Buz/Dir. Buz	

ESPACIAMIENTO DE LAS DISCONTINUIDADES					
		Sistema 1	Sistema 2	Sistema 3	Sistema 4
Muy Ancho	> 2 m				
Ancho	0.60 a 2 m		1.00	1.00	
Moderado	0.20 a 0.60 m	0.40			
Cerrado	0.06 a 0.20 m				
Muy Cerrado	< 0.06 m				

CONDICIONES DEL AGUA	
Flujo por 10 m de longitud de Túnel	CONDICIONES GENERALES:
	Seco : _____
Presión de Agua	Humedo: _____
	Mojado: _____ X _____ X
	Goteo: _____ X _____
Flujo: _____	

TENSIONES "IN SITU"

		CONDICION DE LAS DISCONTINUIDADES			
		Sistema 1	Sistema 2	Sistema 3	Sistema 4
CONTINUIDAD O PERSISTENCIA					
Muy Baja	< 1 m				
Baja	1 - 3 m				
Media	3 - 10 m	X	X	X	
Alta	10 - 20 m				
Muy Alta	> 20 m				
ABERTURA O SEPARACION					
Muy Cerrada	< 0.1 mm				
Cerrada	0.1 - 0.5 mm	X		X	
Moderada	0.5 - 2.5 mm		X		
Abierta	2.5 - 10 mm				
Muy Abierta	> 10 mm				
RUGOSIDAD Y PLANARIDAD (Superficies planares P, Ondulados O, Escalonados E)					
Muy Rugosas					
Rugosas					
Ligeramente rugosas		P	P	P	
Lisas					
Espejo de fallas					
RELLENO		NO	NO	NO	
Tipo:	Duro o Suave				
Espesor:	> 5mm o < 5 mm				
Resistencia compresión simple:					
Flujo:					
ALTERACION DE PAREDES DE DISCONTINUIDAD					
Fresca					
Ligeramente alterada					
Moderada		X	X	X	
Fuerte					
Descompuesta					
OBSERVACIONES					
* Tomado del valor promedio de RCS (Tabla 6.7, anexo 6)					
** Determinado por la relación RQD = 115-3.3 Jv					

ANEXO 8

CARACTERÍSTICAS GEOLOGICA- GEOTECNICAS DEL MACIZO ROCOSO EN EL TRAMO EXCAVADO CON TBM

Tabla 8.1 Características geológicas-geotécnicas del macizo rocoso en el tramo excavado con TBM

Abscisas		long. (m)	RCS (MPa)	RQD	Densidad (tnf/m3)	Durezas		Litología
De	A					Vickers	Moh's	
7+454.00	7+484.00	30	80	95	2.75	452	4.94	ECM - EV - CZO
7+484.00	7+514.00	30	80	100	2.75	452	4.94	ECM - EV - CZO
7+514.00	7+536.00	22	120	85	2.75	461	4.98	E(czo-epid-plg-mic)
7+536.00	7+549.00	13	120	95	2.75	461	4.98	E(czo-epid-plg-mic)
7+549.00	7+564.00	15	120	100	2.75	587	5.47	E(czo-epid-plg-mic) - CZTA - ECZ
7+564.00	7+592.00	28	120	100	2.75	712	5.91	ECZ
7+592.00	7+614.00	22	80	80	2.75	461	4.98	ECM
7+614.00	7+634.00	20	120	100	2.75	712	5.91	ECZ
7+634.00	7+652.00	18	100	75	2.75	586	5.47	ECZ - ECM
7+652.00	7+664.00	12	100	90	2.75	523	5.23	ECZ - EV - ECM
7+664.00	7+709.00	45	80	75	2.75	429	4.84	ECM - EV - CZO
7+709.00	7+744.00	35	100	100	2.75	461	4.98	ECZ - ECM - CZO
7+744.00	7+754.00	10	153	95	2.75	712	5.91	E (silicf)
7+754.00	7+774.00	20	120	100	2.75	712	5.91	ECZ - CZO
7+774.00	7+784.00	10	120	95	2.75	712	5.91	ECZ
7+784.00	7+804.00	20	100	100	2.75	555	5.36	ECZ - EV
7+804.00	7+834.00	30	120	100	2.75	712	5.91	ECZ - CZTA - CZO
7+834.00	7+854.00	20	120	85	2.75	712	5.91	ECZ
7+854.00	7+864.00	10	100	95	2.75	586	5.47	ECZ - ECM
7+864.00	7+879.00	15	78	80	2.75	504	5.16	ECZ - EM
7+879.00	7+907.00	28	80	100	2.75	461	4.98	ECM - CZO
7+907.00	7+922.00	15	80	80	2.75	430	4.84	ECM - Inter (EM - EV)
7+922.00	7+941.00	19	80	85	2.75	461	4.98	ECM - CZO
7+941.00	7+954.00	13	80	85	2.75	452	4.94	ECM - EM - CZO
7+954.00	7+971.00	17	95	95	2.82	488	5.09	GNEIS - ECM - CZO
7+971.00	7+984.00	13	65.5	80	2.82	479	5.05	GNEIS - EM - EV - CZO
7+984.00	7+999.00	15	80	90	2.75	488	5.09	ECM - GNEIS - EM - EV - CZO
7+999.00	8+014.00	15	36	95	2.75	420	4.80	EM - EV - CZO
8+014.00	8+034.00	20	95	95	2.82	488	5.09	GNEIS - ECM - CZO
8+034.00	8+054.00	20	80	85	2.82	473	5.03	GNEIS - EM - ECM - EV - CZO
8+054.00	8+097.00	43	65	95	2.82	479	5.05	GNEIS - EM - CZO

Abscisas		long. (m)	RCS (MPa)	RQD	Densidad (tnf/m3)	Durezas		Litología
De	A					Vickers	Moh's	
8+097.00	8+121.00	24	65	80	2.82	456	4.96	GNEIS(50) - EV(50)
8+121.00	8+139.00	18	65	80	2.82	456	4.96	GNEIS(50) - EV(50)
8+139.00	8+174.00	35	95	95	2.82	479	5.05	GNEIS(80) - EV - EM - CZO
8+174.00	8+186.00	12	65	75	2.82	479	5.05	GNEIS - EM
8+186.00	8+212.00	26	95	85	2.82	488	5.09	GNEIS(85) - ECM - EM - CZO
8+212.00	8+259.00	47	100	85	2.82	613	5.57	GNEIS(70) - ECZ(20) - EV - CZO
8+259.00	8+284.00	25	95	80	2.82	479	5.05	GNEIS - EM
8+284.00	8+314.00	30	95	95	2.82	515	5.20	GNEIS(80) - ECM(10) - CZO
8+314.00	8+334.00	20	100	100	2.82	614	5.57	GNEIS - ECZ
8+334.00	8+356.00	22	78	100	2.75	577	5.44	ECZ(60) - EM(40)
8+356.00	8+384.00	28	120	100	2.75	712	5.91	ECZ - CZO
8+384.00	8+414.00	30	120	100	2.75	712	5.91	ECZ - CZO
8+414.00	8+459.00	45	120	100	2.75	712	5.91	CZTA(50) - ECZ(50)
8+459.00	8+484.00	25	80	80	2.82	556	5.36	GNEIS - EM - ECZ
8+484.00	8+509.00	25	95	85	2.82	515	5.20	GNEIS(80) - ECM - EV
8+509.00	8+530.00	21	100	80	2.82	550	5.34	GNEIS(60) - ECZ (30) - CZO(20) - EV
8+530.00	8+563.00	33	60	70	2.82	515	5.20	GNEIS(80) - ECZ - ECM
8+563.00	8+581.00	18	60	70	2.75	480	5.06	EM - ECM - GNEIS
8+581.00	8+613.00	32	100	70	2.75	480	5.06	ECM - GNEIS
8+613.00	8+629.00	16	100	80	2.82	488	5.09	GNEIS(50) - ECZ(20) - CZO-EM-EV
8+629.00	8+649.00	20	95	85	2.82	515	5.20	GNEIS(80) - ECM - EV
8+649.00	8+679.00	30	100	95	2.82	613	5.57	GNEIS(60) - ECZ(10) - EV(10)-CZO
8+679.00	8+697.00	18	100	65	2.82	456	4.96	GNEIS(50) - ECZ(20) - EV(40)
8+697.00	8+714.00	17	108	95	2.82	479	5.05	GNEIS - ECM
8+714.00	8+744.00	30	100	85	2.82	479	5.05	GNEIS - ECM - EM
8+744.00	8+774.00	30	95	100	2.82	515	5.20	GNEIS(80) - ECM(15) - CZO(5)
8+774.00	8+789.00	15	60	85	2.82	515	5.20	GNEIS(70) - EV(20) - ECM(10)
8+789.00	8+819.00	30	95	100	2.82	515	5.20	GNEIS(80) - E(20)
8+819.00	8+834.00	15	70	85	2.82	456	4.96	GNEIS - EV
8+834.00	8+848.00	14	95	100	2.82	515	5.20	GNEIS
8+848.00	8+874.00	26	135	85	2.82	642	5.67	GNEIS - GO

Abscisas		long. (m)	RCS (MPa)	RQD	Densidad (tnf/m3)	Durezas		Litología
De	A					Vickers	Moh's	
8+874.00	8+889.00	15	135	95	2.82	642	5.67	GNEIS - GO - CZO
8+889.00	8+909.00	20	135	100	2.82	642	5.67	GNEIS - GO
8+909.00	8+917.00	8	175	100	2.63	769	6.09	GO(70) - CZO(30)
8+917.00	8+929.00	12	150	100	2.63	642	5.67	GO - GNEIS
8+929.00	8+949.00	20	135	100	2.63	642	5.67	GO-GNEIS(80) - CZO(20)
8+949.00	8+964.00	15	100	90	2.63	642	5.67	GO-GNEIS(80) - CZO(10)
8+964.00	9+004.00	40	135	95	2.63	642	5.67	GO - GNEIS
9+004.00	9+024.00	20	135	100	2.63	624	5.61	GO - GNEIS-CZO
9+024.00	9+029.00	5	80	100	2.75	420	4.80	ECM - EV
9+029.00	9+054.00	25	95	100	2.82	488	5.09	GNEIS - ECM
9+054.00	9+084.00	30	127	80	2.63	615	5.58	GO - ECM
9+084.00	9+109.00	25	127	90	2.63	615	5.58	GO - ECM
9+109.00	9+144.00	35	105	95	2.63	615	5.58	GO - EM - EV
9+144.00	9+204.00	60	105	85	2.63	615	5.58	GO - EM - EV
9+204.00	9+224.00	20	175	95	2.63	769	6.09	GO-CZO
9+224.00	9+234.00	10	105	95	2.63	583	5.46	GO-EV
9+234.00	9+249.00	15	175	100	2.63	769	6.09	GO
9+249.00	9+268.00	19	105	95	2.63	583	5.46	GO-EV
9+268.00	9+319.00	51	175	95	2.63	769	6.09	GO-CZO
9+319.00	9+329.00	10	175	85	2.63	769	6.09	GO-CZO
9+329.00	9+361.00	32	175	100	2.63	769	6.09	GO-CZO
9+361.00	9+404.00	43	105	95	2.63	583	5.46	GO-EV

ECM= Esquisto cuarzo-micáceo; EV= Esquisto verde; ECZ= Esquisto cuarcítico; CZO= Cuarzo; GO= Granito orientado

ANEXO 9

VALORACIÓN DEL INDICE Q EN TRAMO DE TUNEL EXCAVADO

TABLA 9.1 CLASIFICACION GEOMECANICA (INDICE Q) EN TUNEL EXCAVADO

ABSCISAS		Long. (m)	PARÁMETROS DE CLASIFICACIÓN					Índice Q	Calidad de macizo	Clase de Sost.	LITOLOGÍA	
DE	A		RQD	Jn	Jr	Ja	Jw					SRF
EXCAVACIÓN CON METODO DE PERFORACIÓN Y VOLADURA												
0+000.00	0+011.30	11.30	83	27	3	1	1	1	9.22	Media	II	UNIDAD LITOLOGICA I ESQUISTOS CUARZO MICÁCEOS - INTERCALADOS CON ESQUISTOS CUARZO GRAFITOSOS
0+011.30	0+018.40	7.10	78	9	3	3	1	1	8.67	Media	II	
0+018.40	0+027.70	9.30	85	6	3	2	1	1	21.25	Buena	I	
0+027.70	0+030.90	3.20	80	9	3	2	1	1	13.33	Buena	I	
0+030.90	0+035.80	4.90	80	9	3	4	1	1	6.67	Media	II	
0+035.80	0+043.60	7.80	78	9	3	4	0.66	1	4.29	Media	III	
0+043.60	0+047.00	3.40	90	9	3	3	1	1	10.00	Buena	II	
0+047.00	0+068.30	21.30	85	6	3	2	1	1	21.25	Buena	I	
0+068.30	0+291.40	223.10	87	6	3	1	1	1	43.50	Muy buena	I	
0+291.40	0+319.84	28.44	89	4	3	1	1	1	66.75	Muy buena	I	
0+319.84	0+326.93	7.09	75	4	3	1	0.66	1	37.13	Buena	I	
0+326.93	0+404.50	77.57	90	6	3	1	1	1	45.00	Muy buena	I	
EXCAVACIÓN CON TBM												
7+454.00	7+484.00	30.00	95	9	3	1	1	5	6.35	Media	II	UNIDAD LITOLOGICA VI ESQUISTOS CUARCÍTICOS - CUARCITAS - CON VETILLAS DE CUARZO
7+484.00	7+514.00	30.00	100	6	3	1	1	5	10.00	Buena	II	
7+514.00	7+536.00	22.00	85	9	3	1	1	5	5.69	Media	III	
7+536.00	7+549.00	13.00	95	6	3	2	1	5	4.76	Media	III	
7+549.00	7+564.00	15.00	100	4	3	1	1	5	15.00	Buena	I	
7+564.00	7+592.00	28.00	100	4	3	1	1	5	15.00	Buena	I	
7+592.00	7+614.00	22.00	80	4	3	1	0.66	5	7.95	Media	II	
7+614.00	7+634.00	20.00	100	3	3	1	1	5	20.00	Buena	I	
7+634.00	7+652.00	18.00	75	4	3	1	1	5	11.31	Buena	II	
7+652.00	7+664.00	12.00	90	4	3	1	1	5	13.54	Buena	I	
7+664.00	7+709.00	45.00	75	4	3	2	0.5	5	2.83	Mala	III	
7+709.00	7+744.00	35.00	100	4	3	1	1	5	15.02	Buena	I	
7+744.00	7+754.00	10.00	95	4	3	1	1	5	14.28	Buena	I	
7+754.00	7+774.00	20.00	100	3	3	1	1	5	20.00	Buena	I	
7+774.00	7+784.00	10.00	95	3	3	1	1	5	19.04	Buena	I	
7+784.00	7+804.00	20.00	100	4	3	1	1	5	15.00	Buena	I	
7+804.00	7+834.00	30.00	100	4	3	1	1	5	15.00	Buena	I	
7+834.00	7+854.00	20.00	85	4	3	1	1	5	12.80	Buena	I	
7+854.00	7+864.00	10.00	95	4	3	1	1	5	14.28	Buena	I	
7+864.00	7+879.00	15.00	80	6	3	2	1	5	4.02	Media	III	

SRF relación de esfuerzos, tomando RCS de la unidad litológica y cobertura

ABSCISAS		Long. (m)	PARÁMETROS DE CLASIFICACIÓN					Índice Q	Calidad de macizo	Clase de Sost.	LITOLOGÍA	
DE	A		RQD	Jn	Jr	Ja	Jw					SRF
7+879.00	7+907.00	28.00	100	4	3	1	1	5	15.00	Buena	I	ESQUISTOS CUARZO MICÁCEOS - INTERCALADO CON ESQUISTOS MICÁCEOS Y VERDES
7+907.00	7+922.00	15.00	80	4	3	1	1	5	12.05	Buena	I	
7+922.00	7+941.00	19.00	85	6	3	1	1	5	8.53	Media	II	
7+941.00	7+954.00	13.00	85	6	3	1	1	5	8.53	Media	II	
7+954.00	7+971.00	17.00	95	6	3	1	1	5	9.52	Media	II	
7+971.00	7+984.00	13.00	80	4	3	1	1	5	12.05	Buena	I	UNIDAD LITOLOGICA VI GNEIS - INTERCALACIONES DE ESQUISTOS
7+984.00	7+999.00	15.00	90	4	3	1	1	5	13.54	Buena	I	
7+999.00	8+014.00	15.00	95	6	3	1	0.66	5	6.28	Media	II	
8+014.00	8+034.00	20.00	95	6	3	1	0.66	5	6.28	Media	II	
8+034.00	8+054.00	20.00	85	6	3	1	0.5	5	4.27	Media	III	
8+054.00	8+097.00	43.00	95	6	3	1	1	5	9.52	Media	II	
8+097.00	8+121.00	24.00	80	6	3	1	1	5	8.04	Media	II	
8+121.00	8+139.00	18.00	80	6	3	1	0.66	5	5.30	Media	III	
8+139.00	8+174.00	35.00	95	6	3	1	1	5	9.52	Media	II	
8+174.00	8+186.00	12.00	75	6	3	1	0.66	5	4.98	Media	III	
8+186.00	8+212.00	26.00	85	6	3	1	1	5	8.53	Media	II	
8+212.00	8+259.00	47.00	85	4	3	1	1	5	12.80	Buena	I	
8+259.00	8+284.00	25.00	80	6	3	1	1	5	8.04	Media	II	
8+284.00	8+314.00	30.00	95	4	3	1	1	5	14.28	Buena	I	
8+314.00	8+334.00	20.00	100	3	3	1	1	5	20.00	Buena	I	
8+334.00	8+356.00	22.00	100	3	3	1	1	5	20.00	Buena	I	
8+356.00	8+384.00	28.00	100	4	3	1	1	2	37.50	Buena	I	UNIDAD LITOLOGICA VI ESQUISTOS CUARCÍTICOS - CUARZO
8+384.00	8+414.00	30.00	100	4	3	1	1	2	37.50	Buena	I	
8+414.00	8+459.00	45.00	100	4	3	1	1	2	37.50	Buena	I	
8+459.00	8+484.00	25.00	80	6	3	1	1	1	40.18	Muy buena	I	
8+484.00	8+509.00	25.00	85	6	3	1	0.66	1	28.15	Buena	I	UNIDAD LITOLOGICA VI GNEIS - INTERCALACIONES DE ESQUISTOS
8+509.00	8+530.00	21.00	80	6	3	1	1	1	40.18	Muy buena	I	
8+530.00	8+541.00	11.00	100	6	3	1	1	1	50.00	Muy buena	I	
8+541.00	8+606.00	65.00	70	9	2	3	0.66	1	3.42	Mala	III	
8+606.00	8+624.00	18.00	80	9	3	3	1	1	8.89	Media	II	
8+624.00	8+629.00	5.00	80	6	3	2	1	1	20.09	Buena	I	UNIDAD LITOLOGICA VI GNEIS - INTERCALACIONES DE ESQUISTOS
8+629.00	8+649.00	20.00	85	6	3	1	1	1	42.65	Muy buena	I	
8+649.00	8+679.00	30.00	95	3	3	1	1	1	95.20	Muy buena	I	
8+679.00	8+697.00	18.00	65	6	3	2	1	1	16.25	Buena	I	
8+697.00	8+714.00	17.00	95	4	3	1	1	1	71.40	Muy buena	I	
8+714.00	8+744.00	30.00	85	4	3	1	1	1	63.98	Muy buena	I	

SRF relación de esfuerzos, tomando RCS de la unidad litológica y cobertura

ABSCISAS		Long. (m)	PARÁMETROS DE CLASIFICACIÓN					Índice Q	Calidad de macizo	Clase de Sost.	LITOLOGÍA	
DE	A		RQD	Jn	Jr	Ja	Jw					SRF
8+744.00	8+774.00	30.00	100	3	3	1	1	1	100.00	Extr. buena		UNIDAD LITOLOGICA VI GNEIS - INTERCALACIONES DE ESQUISTOS
8+774.00	8+789.00	15.00	85	4	3	1	1	1	63.98	Muy buena		
8+789.00	8+819.00	30.00	100	3	3	1	1	1	100.00	Extr. buena		
8+819.00	8+834.00	15.00	85	4	3	1	0.66	1	42.22	Muy buena		
8+834.00	8+848.00	14.00	100	4	3	1	1	1	75.00	Muy buena		
8+848.00	8+874.00	26.00	85	4	3	1	1	1	63.98	Muy buena		UNIDAD LITOLOGICA VII GRANITO ORIENTADO - GNEIS
8+874.00	8+889.00	15.00	95	4	3	1	1	1	71.40	Muy buena		
8+889.00	8+909.00	20.00	100	4	3	1	1	1	75.00	Muy buena		
8+909.00	8+917.00	8.00	100	4	3	1	1	1	75.00	Muy buena		
8+917.00	8+929.00	12.00	100	4	3	1	1	1	75.00	Muy buena		
8+929.00	8+949.00	20.00	100	4	3	1	0.66	1	49.50	Muy buena		
8+949.00	8+964.00	15.00	90	4	3	1	1	1	67.69	Muy buena		
8+964.00	9+004.00	40.00	95	4	3	1	1	1	71.40	Muy buena		
9+004.00	9+024.00	20.00	100	4	3	1	1	1	75.00	Muy buena		
9+024.00	9+029.00	5.00	100	4	3	1	1	1	75.00	Muy buena		
9+029.00	9+054.00	25.00	100	4	3	1	1	1	75.00	Muy buena		UNIDAD LITOLOGICA VII GRANITO ORIENTADO
9+054.00	9+084.00	30.00	80	4	3	1	1	1	60.26	Muy buena		
9+084.00	9+109.00	25.00	90	4	3	1	1	1	67.69	Muy buena		
9+109.00	9+144.00	35.00	95	4	3	1	1	1	71.40	Muy buena		
9+144.00	9+204.00	60.00	85	4	3	1	1	1	63.98	Muy buena		
9+204.00	9+224.00	20.00	95	4	3	1	1	1	71.40	Muy buena		
9+224.00	9+234.00	10.00	95	4	3	1	0.5	1	35.70	Buena		
9+234.00	9+249.00	15.00	100	4	3	1	1	1	75.00	Muy buena		
9+249.00	9+268.00	19.00	95	4	3	1	0.66	1	47.12	Muy buena		
9+268.00	9+319.00	51.00	95	6	3	1	0.66	1	31.42	Buena		
9+319.00	9+329.00	10.00	85	6	3	1	1	1	42.65	Muy buena		UNIDAD LITOLOGICA VII GRANITO ORIENTADO
9+329.00	9+361.00	32.00	100	6	3	1	0.66	1	33.00	Buena		
9+361.00	9+404.00	43.00	95	6	3	1	1	1	47.60	Muy buena		
EXCAVACIÓN CON METODO DE PERFORACIÓN Y VOLADURA												
9+404.00	9+500.12	96.12	90	6	3	1	1	1	45.00	Muy buena		
9+500.12	9+519.40	19.28	66	6	3	1	1	1	33.00	Buena		
9+519.40	9+740.65	221.25	86	6	3	1	1	1	43.00	Muy buena		
9+740.65	9+745.50	4.85	70	6	3	1	1	1	35.00	Buena		
9+745.50	9+792.90	47.40	85	6	3	1	1	1	42.50	Muy buena		
9+792.90	9+797.80	4.90	75	6	3	1	1	1	37.50	Buena		
9+797.80	9+807.43	9.63	90	6	3	1	1	1	45.00	Muy buena		

SRF relación de esfuerzos, tomando RCS de la unidad litológica y cobertura

ABSCISAS		Long. (m)	PARÁMETROS DE CLASIFICACIÓN					Índice Q	Calidad de macizo	Clase de Sost.	LITOLOGÍA	
DE	A		RQD	Jn	Jr	Ja	Jw					SRF
9+807.43	9+811.70	4.27	75	6	3	1	1	1	37.50	Buena	I	UNIDAD LITOLOGICA VII GRANITO ORIENTADO
9+811.70	9+928.50	116.80	83	6	3	1	1	1	41.50	Muy buena	I	
9+928.50	9+947.82	19.32	69	6	3	1	1	1	34.50	Buena	I	
9+947.82	9+963.34	15.52	79	6	3	1	1	1	39.50	Buena	I	
9+963.34	9+978.15	14.81	60	9	3	2	0.66	1	6.60	Media	II	
9+978.15	10+338.86	360.71	87	6	3	1	1	1	43.50	Muy buena	I	
10+338.86	10+401.00	62.14	75	18	3	1	0.66	1	8.25	Media	II	
10+401.00	10+410.20	9.20	77	18	3	1	0.66	1	8.47	Media	II	
10+410.20	10+416.00	5.80	65	18	3	1	0.66	1	7.15	Media	II	
10+416.00	10+441.90	25.90	72	18	3	1	0.66	1	7.92	Media	II	
10+441.90	10+470.84	28.94	74	6	3	1	1	1	37.00	Buena	I	
10+470.84	10+481.30	10.46	82	4	3	2	1	1	30.75	Buena	I	
10+481.30	10+600.30	119.00	89	4	3	1	1	1	66.75	Muy buena	I	
10+600.30	10+618.44	18.14	86	6	3	1	1	1	43.00	Muy buena	I	
10+618.44	10+649.50	31.06	90	4	3	1	1	1	67.50	Muy buena	I	
10+649.50	10+822.40	172.90	90	6	3	1	1	1	45.00	Muy buena	I	
10+822.40	10+831.75	9.35	68	6	3	1	1	1	34.00	Buena	I	
10+831.75	10+850.20	18.45	70	6	3	1	1	1	35.00	Buena	I	
10+850.20	11+100.00	249.80	88	6	3	1	1	1	44.00	Muy buena	I	

SRF relación de esfuerzos, tomando RCS de la unidad litológica y cobertura

ANEXO 10

EVALUACION DEL INDICE Q_{TBM} (Modificado)

Tabla 10.1 Cálculo del Índice QTBM (Mod) y parámetros relacionados

Abscisas		Parámetros del TBM			Parámetros de la Roca					Dureza		QTBM
De	A	FET (KN)	F (tnf)	RPM	RCS (Mpa)	Densidad (tf/m3)	Indice Q	Qc	Sigma (MPa)	Vickers	Moh's	
7+454.00	7+484.00	8098.83	16.20	5.56	80	2.75	6.35	5.08	23.63	452	4.94	8.95
7+484.00	7+514.00	9254.38	18.51	5.26	80	2.75	10.00	8.00	27.50	452	4.94	14.36
7+514.00	7+536.00	7377.94	14.76	4.66	120	2.75	5.69	6.82	26.08	461	4.98	9.79
7+536.00	7+549.00	7155.56	14.31	4.80	120	2.75	4.76	5.71	24.58	461	4.98	7.96
7+549.00	7+564.00	7770.36	15.54	5.11	120	2.75	15.00	18.00	36.04	587	5.47	37.25
7+564.00	7+592.00	8757.25	17.51	5.82	120	2.75	15.00	18.00	36.04	712	5.91	35.67
7+592.00	7+614.00	8224.35	16.45	4.74	80	2.75	7.95	6.36	25.48	461	4.98	12.01
7+614.00	7+634.00	8926.00	17.85	5.89	120	2.75	20.00	24.00	39.66	712	5.91	51.36
7+634.00	7+652.00	9276.42	18.55	5.59	100	2.75	11.31	11.31	30.86	586	5.47	20.14
7+652.00	7+664.00	10056.33	20.11	6.34	100	2.75	13.54	13.54	32.77	523	5.23	22.58
7+664.00	7+709.00	8311.78	16.62	5.98	80	2.75	2.83	2.26	18.05	429	4.84	2.91
7+709.00	7+744.00	7969.12	15.94	6.27	100	2.75	15.02	15.02	33.93	461	4.98	31.16
7+744.00	7+754.00	8033.14	16.07	6.97	153	2.75	14.28	21.85	38.44	712	5.91	39.49
7+754.00	7+774.00	8167.27	16.33	6.34	120	2.75	20.00	24.00	39.66	712	5.91	56.13
7+774.00	7+784.00	9723.14	19.45	7.29	120	2.75	19.04	22.85	39.02	712	5.91	44.15
7+784.00	7+804.00	9529.79	19.06	6.66	100	2.75	15.00	15.00	33.91	555	5.36	27.97
7+804.00	7+834.00	8418.59	16.84	6.51	120	2.75	15.00	18.00	36.04	712	5.91	37.11
7+834.00	7+854.00	8878.73	17.76	6.21	120	2.75	12.80	15.35	34.18	712	5.91	28.46
7+854.00	7+864.00	8217.29	16.43	5.69	100	2.75	14.28	14.28	33.36	586	5.47	31.03
7+864.00	7+879.00	8294.18	16.59	4.85	78	2.75	4.02	3.13	20.12	504	5.16	4.92
7+879.00	7+907.00	9409.45	18.82	6.10	80	2.75	15.00	12.00	31.48	461	4.98	24.45
7+907.00	7+922.00	10358.82	20.72	6.60	80	2.75	12.05	9.64	29.27	430	4.84	16.14
7+922.00	7+941.00	8812.23	17.62	5.41	80	2.75	8.53	6.82	26.08	461	4.98	12.30
7+941.00	7+954.00	7868.30	15.74	4.85	80	2.75	8.53	6.82	26.08	452	4.94	13.67
7+954.00	7+971.00	8242.67	16.49	6.76	95	2.82	9.52	9.04	29.38	488	5.09	16.90
7+971.00	7+984.00	8846.44	17.69	6.40	66	2.82	12.05	7.89	28.08	479	5.05	18.92
7+984.00	7+999.00	7974.36	15.95	6.17	80	2.75	13.54	10.83	30.42	488	5.09	25.73
7+999.00	8+014.00	7928.09	15.86	6.55	36	2.75	9.52	3.43	20.73	420	4.80	11.69
8+014.00	8+034.00	8067.53	16.14	6.72	95	2.82	6.28	5.97	25.58	488	5.09	9.92
8+034.00	8+054.00	7740.07	15.48	6.41	80	2.82	4.27	3.41	21.23	473	5.03	5.76
8+054.00	8+097.00	8118.65	16.24	6.55	65	2.82	9.52	6.19	25.89	479	5.05	15.01
8+097.00	8+121.00	8374.18	16.75	6.26	65	2.82	8.04	5.22	24.46	456	4.96	11.39
8+121.00	8+139.00	7355.85	14.71	6.34	65	2.82	5.30	3.45	21.30	456	4.96	7.45
8+139.00	8+174.00	8658.00	17.32	6.26	95	2.82	9.52	9.04	29.38	479	5.05	15.97
8+174.00	8+186.00	9070.38	18.14	6.69	65	2.82	7.54	4.90	23.95	479	5.05	9.85
8+186.00	8+212.00	8224.89	16.45	6.04	95	2.82	8.53	8.10	28.32	488	5.09	14.63
8+212.00	8+259.00	8242.53	16.49	6.01	100	2.82	12.80	12.80	32.98	613	5.57	27.89
8+259.00	8+284.00	5702.17	11.40	5.02	95	2.82	8.04	7.63	27.76	479	5.05	19.35

Abcisas		Parámetros del TBM			Parámetros de la Roca					Dureza		QTBM
De	A	FET (KN)	F (tnf)	RPM	RCS (Mpa)	Densidad (tf/m3)	Indice Q	Qc	Sigma (MPa)	Vickers	Moh's	
8+284.00	8+314.00	7163.68	14.33	6.08	95	2.82	14.28	13.57	33.63	515	5.20	34.11
8+314.00	8+334.00	8142.86	16.29	5.83	100	2.82	20.00	20.00	38.27	614	5.57	51.24
8+334.00	8+356.00	7389.94	14.78	6.23	78	2.75	20.00	15.60	34.36	577	5.44	49.47
8+356.00	8+384.00	8139.25	16.28	5.85	120	2.75	37.50	45.00	48.91	712	5.91	130.22
8+384.00	8+414.00	9045.18	18.09	6.42	120	2.75	37.50	45.00	48.91	712	5.91	117.18
8+414.00	8+459.00	8243.16	16.49	8.00	120	2.75	37.50	45.00	48.91	712	5.91	128.58
8+459.00	8+484.00	6558.83	13.12	5.92	80	2.82	40.18	32.14	44.83	556	5.36	143.99
8+484.00	8+509.00	7776.44	15.55	5.77	95	2.82	42.65	40.52	48.43	515	5.20	135.14
8+509.00	8+530.00	8938.24	17.88	5.93	100	2.82	40.18	40.18	48.29	550	5.34	113.33
8+530.00	8+563.00	9009.40	18.02	5.70	60	2.82	35.00	21.00	38.90	515	5.20	76.89
8+563.00	8+581.00	9121.62	18.24	6.09	60	2.75	7.78	4.67	22.98	480	5.06	9.70
8+581.00	8+613.00	8682.04	17.36	6.41	100	2.75	23.33	23.33	39.29	480	5.06	52.26
8+613.00	8+629.00	6860.36	13.72	6.15	100	2.82	20.09	20.09	38.33	488	5.09	55.91
8+629.00	8+649.00	7016.00	14.03	6.41	95	2.82	42.65	40.52	48.43	515	5.20	149.79
8+649.00	8+679.00	8992.36	17.98	5.06	100	2.82	95.20	95.20	64.38	613	5.57	371.39
8+679.00	8+697.00	5917.08	11.83	5.33	100	2.82	16.25	16.25	35.71	456	4.96	47.57
8+697.00	8+714.00	8848.42	17.70	6.72	108	2.82	71.40	77.11	60.01	479	5.05	239.49
8+714.00	8+744.00	9033.68	18.07	6.57	100	2.82	63.98	63.98	56.39	479	5.05	197.50
8+744.00	8+774.00	9791.29	19.58	6.46	95	2.82	100.00	95.00	64.34	515	5.20	334.33
8+774.00	8+789.00	9846.91	19.69	6.34	60	2.82	63.98	38.39	47.56	515	5.20	157.23
8+789.00	8+819.00	10767.29	21.53	6.23	95	2.82	100.00	95.00	64.34	515	5.20	304.03
8+819.00	8+834.00	10085.80	20.17	6.27	70	2.82	63.98	44.78	50.07	456	4.96	154.06
8+834.00	8+848.00	11622.11	23.24	5.91	95	2.82	75.00	71.25	58.45	515	5.20	191.93
8+848.00	8+874.00	10720.44	21.44	5.93	135	2.82	63.98	86.37	62.33	642	5.67	206.37
8+874.00	8+889.00	11244.00	22.49	6.20	135	2.82	71.40	96.39	64.65	642	5.67	227.79
8+889.00	8+909.00	11900.77	23.80	6.15	135	2.82	75.00	101.25	65.72	642	5.67	229.81
8+909.00	8+917.00	11720.00	23.44	6.04	175	2.63	75.00	131.25	66.83	769	6.09	254.74
8+917.00	8+929.00	11805.67	23.61	6.08	150	2.63	75.00	112.50	63.48	642	5.67	223.77
8+929.00	8+949.00	10768.40	21.54	6.45	135	2.63	49.50	66.83	53.36	642	5.67	136.11
8+949.00	8+964.00	11000.00	22.00	6.37	100	2.63	67.69	67.69	53.59	642	5.67	182.98
8+964.00	9+004.00	10929.40	21.86	6.83	135	2.63	71.40	96.39	60.29	642	5.67	218.56
9+004.00	9+024.00	12158.69	24.32	7.31	135	2.63	75.00	101.25	61.29	624	5.61	207.44
9+024.00	9+029.00	7875.00	15.75	7.50	80	2.75	75.00	60.00	53.83	420	4.80	240.76
9+029.00	9+054.00	10141.71	20.28	6.96	95	2.82	75.00	71.25	58.45	488	5.09	215.34
9+054.00	9+084.00	9012.00	18.02	6.99	127	2.63	60.26	76.53	55.83	615	5.58	203.68
9+084.00	9+109.00	10329.26	20.66	6.61	127	2.63	67.69	85.96	58.04	615	5.58	207.49

Abcisas		Parámetros del TBM			Parámetros de la Roca					Dureza		QTBM
De	A	FET (KN)	F (tnf)	RPM	RCS (Mpa)	Densidad (tf/m3)	Indice Q	Qc	Sigma (MPa)	Vickers	Moh's	
9+109.00	9+144.00	9289.69	18.58	6.70	105	2.63	71.40	74.97	55.45	615	5.58	232.51
9+144.00	9+204.00	9935.89	19.87	7.03	105	2.63	63.98	67.17	53.46	615	5.58	187.78
9+204.00	9+224.00	8391.80	16.78	7.47	175	2.63	71.40	124.95	65.74	769	6.09	333.19
9+224.00	9+234.00	7831.63	15.66	6.48	105	2.63	35.70	37.49	44.01	583	5.46	107.18
9+234.00	9+249.00	10615.83	21.23	7.23	175	2.63	75.00	131.25	66.83	769	6.09	281.24
9+249.00	9+268.00	9985.38	19.97	7.12	105	2.63	47.12	49.48	48.28	583	5.46	121.72
9+268.00	9+319.00	9306.09	18.61	7.11	175	2.63	31.42	54.98	50.00	769	6.09	100.55
9+319.00	9+329.00	10820.00	21.64	6.50	175	2.63	42.65	74.64	55.37	769	6.09	130.00
9+329.00	9+361.00	10462.42	20.92	7.03	175	2.63	33.00	57.75	50.83	769	6.09	95.50
9+361.00	9+404.00	8075.75	16.15	5.42	105	2.63	47.60	49.98	48.44	583	5.46	152.53
PROMEDIO		8937.46	17.87	6.22	104.26	2.75	34.52	39.07	41.80	564.32	5.11	101.70

ANEXO 11

CALCULO DE DUREZA VICKERS Y MOH'S DE LAS ROCAS

Tabla 11.1 Dureza Vickers de minerales (University of Trondheim, 1994).

MINERAL	VHN (Kg/mm²)
Corindón	2300
Cuarzo	1060
Granate	1060
Olivino	980
Epidota	950
Hematita	925
Pirita	800
Plagioclasa	800
Diópsido	800
Magnetita	730
Ortoclasa (feldespato alcalino)	730
Augita	640
Ilmenita	625
Hipersteno (ortopiroxeno)	600
Hornblenda (anfíbol)	600
Cromita	600
Apatito	550
Dolomita	365
Pirrotina	310
Fluorita	265
Pentlandita	220
Esfarelita	200
Calcopirita	195
Serpentina	175
Anhidrita	160
Calcita	125
Biotita	110
Galena	85
Calcocina	65
Clorita	50
Yeso	50
Grafito	20
Talco	20
Halita	17
Silvita	10

Tabla 11.2 Cálculo de Durezas de las muestras de roca del Tramo Geotécnico I

Nombre de la Roca: Esquisto

Muestra: MH-2

Unidad Litológica: I

Mineral	Porcentaje (%)	Dureza del Mineral	Dureza parcial
cuarzo	35	1060	371
feldespato	26	730	189.8
micas	15	110	16.5
grafito	3	20	0.6
clorita	10	50	5
granate	7	1060	74.2
otros	4		
Dureza Total VHNR			657.1

Nombre de la Roca: Esquisto Grafitoso

Muestra: 7A

Unidad Litológica: I

Mineral	Porcentaje (%)	Dureza del Mineral	Dureza parcial
cuarzo	25	1060	265
feldespato	8	730	58.4
micas	35	110	38.5
grafito	15	20	3
clorita	3	50	1.5
opacos	5	800	40
otros	9		
Dureza Total VHNR			406.4

Nombre de la Roca: Esquisto Micáceo

Muestra: 8A

Unidad Litológica: I

Mineral	Porcentaje (%)	Dureza del Mineral	Dureza parcial
cuarzo	20	1060	212
feldespato	15	730	109.5
micas	45	110	49.5
grafito	3	20	0.6
clorita	8	50	4
granate	3	1060	31.8
epidota	3	950	28.5
otros	3		
Dureza Total VHNR			435.9

Nombre de la Roca: Esquisto Grafitoso

Muestra: 9A

Unidad Litológica: I

Mineral	Porcentaje (%)	Dureza del Mineral	Dureza parcial
cuarzo	25	1060	265
feldespato	10	730	73
micas	44	110	48.4
grafito	8	20	1.6
clorita	10	50	5
carbonatos	3	125	3.75
Dureza Total VHNR			396.75

Tabla 11.3 Relacion de Durezas por tipos de roca para la Tramo I

Tramo Geotécnico	Dureza Vickers VHNR	Dureza Moh's	Nombre de la Roca
I	657.1	5.72	Esquisto
	406.4	4.74	Esquisto Grafitoso
	435.9	4.87	Esquisto Micáceo
	396.75	4.69	Esquisto Grafitoso
Promed.	474	5.03	

*La Dureza Moh's es obtenida gracias a la siguiente relación:

Tabla 11.4 Cálculo de Durezas de las muestras de roca del Tramo Geotécnico II

Nombre de la Roca: Pizarra gráfica

Muestra: MH-7

Unidad Litológica: II

Mineral	Porcentaje (%)	Dureza del Mineral	Dureza parcial
cuarzo	10	1060	106
Feldespato	3	730	21.9
Micas	18	110	19.8
grafito	57	20	11.4
otros	12		
Dureza Total VHNR			159.1

Nombre de la Roca: Esquisto Grafitoso

Muestra: 10A

Unidad Litológica: II

Mineral	Porcentaje (%)	Dureza del Mineral	Dureza parcial
cuarzo	15	1060	159
feldespato	25	730	182.5
micas	20	110	22
grafito	15	20	3
clorita	3	50	1.5
carbonatos	10	125	12.5
otros	12		
Dureza Total VHNR			380.5

Nombre de la Roca: Esquisto Micáceo

Muestra: 11A

Unidad Litológica: II

Mineral	Porcentaje (%)	Dureza del Mineral	Dureza parcial
cuarzo	30	1060	318
feldespato	20	730	146
micas	15	110	16.5
grafito	5	20	1
clorita	8	50	4
carbonatos	10	125	12.5
epidota	8	950	76
otros	4		
Dureza Total VHNR			574

Tabla 11.5 Relacion de Durezas por tipos de roca para la Tramo II

Tramo Geotécnico	Dureza Vickers VHNR	Dureza Moh's	Nombre de la Roca
II	159.1	3.28	Pizarra Gráfica
	380.5	4.62	Esquisto Grafitoso
	574	5.43	Esquisto Micáceo
Promedio	371.2	4.57	

*La Dureza Moh's es obtenida gracias a la siguiente relación:

$$DMoh's = 10^{0.3913 \times \log(Vickers) - 0.3573}$$

Tabla 11.6 Cálculo de Durezas de las muestras de roca del Tramo Geotécnico III

Nombre de la Roca: Esquisto Micáceo
 Muestra: MH-9
 Unidad Litológica: III

Mineral	Porcentaje (%)	Dureza del Mineral	Dureza parcial
cuarzo	22	1060	233.2
feldespato	11	730	80.3
micas	43	110	47.3
otros	24		
Dureza Total VHNR			360.8

Nombre de la Roca: Esquisto Micáceo
 Muestra: MH-11
 Unidad Litológica: III

Mineral	Porcentaje (%)	Dureza del Mineral	Dureza parcial
cuarzo	20	1060	212
feldespato	24	730	175.2
micas	25	110	27.5
clorita	5	50	2.5
otros	26		
Dureza Total VHNR			417.2

Nombre de la Roca: Gneis de Cuarzo
 Muestra: MH-13
 Unidad Litológica: IV

Mineral	Porcentaje (%)	Dureza del Mineral	Dureza parcial
cuarzo	38	1060	402.8
feldespato	10	730	73
micas	34	110	37.4
clorita	4	50	2
otros	14		
Dureza Total VHNR			515.2

Tabla 11.7 Relacion de Durezas por tipos de roca para la Tramo III

Tramo Geotécnico	Dureza Vickers VHNR	Dureza Moh's	Nombre de la Roca
III	360.8	4.52	Esquisto Micáceo
	417.2	4.79	Esquisto Micáceo
	515.2	5.20	Gneis de Cuarzo
Promed.	431	4.85	

*La Dureza Moh's es obtenida gracias a la siguiente relación:

$$DMoh's = 10^{0.3913 \times \log(Vickers) - 0.3573}$$

Tabla 11.8 Cálculo de Durezas de las muestras de roca del Tramo Geotécnico IV

Nombre de la Roca: Esquisto de Epidota

Muestra: MH-18

Unidad Litológica: V

Mineral	Porcentaje (%)	Dureza del Mineral	Dureza parcial
cuarzo	20	1060	212
feldespato	20	730	146
micas	15	110	16.5
epidota	35	950	332.5
clorita	5	50	2.5
otros	5		
Dureza Total VHNR			709.5

Nombre de la Roca: Esquisto Biotítico

Muestra: MH-19

Unidad Litológica: V

Mineral	Porcentaje (%)	Dureza del Mineral	Dureza parcial
cuarzo	30	1060	318
feldespato	30	730	219
micas	10	110	11
clorita	15	50	7.5
otros	15		
Dureza Total VHNR			555.5

Nombre de la Roca: Diorita Cuarzítica

Muestra: MH-28

Unidad Litológica: V

Mineral	Porcentaje (%)	Dureza del Mineral	Dureza parcial
cuarzo	20	1060	212
feldespato	40	730	292
micas	20	110	22
Hornblenda	15	600	90
Piroxeno	4	600	24
otros	1		
Dureza Total VHNR			640

Nombre de la Roca: Esquisto Clorítico

Muestra: 1A

Unidad Litológica: V

Mineral	Porcentaje (%)	Dureza del Mineral	Dureza parcial
cuarzo	20	1060	212
feldespato	25	730	182.5
micas	38	110	41.8
clorita	10	50	5
otros	7		
Dureza Total VHNR			441.3

Nombre de la Roca: Esquisto Micáceo

Muestra: 2A

Unidad Litológica: V

Mineral	Porcentaje (%)	Dureza del Mineral	Dureza parcial
cuarzo	22	1060	233.2
feldespato	15	730	109.5
micas	30	110	33
epidota	8	950	76
clorita	10	50	5
otros	15		
Dureza Total VHNR			456.7

Nombre de la Roca: Esquisto Clorítico

Muestra: 3A

Unidad Litológica: V

Mineral	Porcentaje (%)	Dureza del Mineral	Dureza parcial
cuarzo	20	1060	212
feldespato	30	730	219
micas	27	110	29.7
clorita	10	50	5
epidota	8	950	76
otros	5		
Dureza Total VHNR			541.7

Nombre de la Roca: Esquisto Micáceo

Muestra: MH-22

Unidad Litológica: VI

Mineral	Porcentaje (%)	Dureza del Mineral	Dureza parcial
cuarzo	20	1060	212
feldespato	25	730	182.5
micas	35	110	38.5
clorita	5	50	2.5
otros	15		
Dureza Total VHNR			435.5

Nombre de la Roca: Esquisto de Moscovita

Muestra: 4A

Unidad Litológica: VI

Mineral	Porcentaje (%)	Dureza del Mineral	Dureza parcial
cuarzo	15	1060	159
feldespato	27	730	197.1
micas	40	110	44
epidota	5	950	47.5
clorita	8	50	4
otros	5		
Dureza Total VHNR			451.6

Nombre de la Roca: Esquisto Clorítico
 Muestra: 5A
 Unidad Litológica: VI

Mineral	Porcentaje (%)	Dureza del Mineral	Dureza parcial
cuarzo	18	1060	190.8
feldespato	18	730	131.4
micas	40	110	44
clorita	15	50	7.5
opacos	3	800	24
otros	6		
Dureza Total VHNR			397.7

Nombre Roca: Esquisto Clorítico con cuarzo
 Muestra: 6A
 Unidad Litológica: VI

Mineral	Porcentaje (%)	Dureza del Mineral	Dureza parcial
cuarzo	25	1060	265
feldespato	20	730	146
micas	35	110	38.5
clorita	3	50	1.5
carbonatos	8	125	10
otros	8		
Dureza Total VHNR			461

Tabla 11.9 Relacion de Durezas por tipos de roca para la Tramo IV

Tramo Geotécnico	Dureza Vickers VHNR	Dureza Moh's	Nombre de la Roca
IV	709.5	5.90	Esquisto de Epidota
	555.5	5.36	Esquisto Biotítico
	640	5.66	Diorita Cuarzítica
	441.3	4.89	Esquisto Clorítico
	456.7	4.96	Esquisto Micáceo
	541.7	5.30	Esquisto Clorítico
	435.5	4.87	Esquisto Micáceo
	451.6	4.94	Esquisto de Moscovita
	397.7	4.70	Esquisto Clorítico
	461	4.98	Esquisto Clorita-Cuarzo
Promed.	509	5.18	

*La Dureza Moh's es obtenida gracias a la siguiente relación:

$$DMoh's = 10^{0.3913 \times \log(Vickers) - 0.3573}$$

Tabla 11.10 Cálculo de Durezas de las muestras de roca del Tramo Geotécnico V

Nombre de la Roca: Esquisto de Cuarzo
 Muestra: 12A
 Unidad Litológica: VII

Mineral	Porcentaje (%)	Dureza del Mineral	Dureza parcial
cuarzo	45	1060	477
feldespato	20	730	146
micas	8	110	8.8
epidota	5	950	47.5
clorita	5	50	2.5
carbonatos	5	125	6.25
opacos	3	800	24
otros	9		
Dureza Total VHNR			712.05

Nombre de la Roca: Metagranito
 Muestra: MH-25
 Unidad Litológica: VII

Mineral	Porcentaje (%)	Dureza del Mineral	Dureza parcial
cuarzo	33	1060	349.8
feldespato	65	730	474.5
micas	2	110	2.2
Dureza Total VHNR			826.5

Tabla 11.11 Relación de Durezas por tipos de roca para la Tramo V

Tramo Geotécnico	Dureza Vickers VHNR	Dureza Moh's	Nombre de la Roca
	826.5	6.26	Metagranito
	712.05	5.91	Esquisto de cuarzo
Promed.	769	6.09	

*La Dureza Moh's es obtenida gracias a la siguiente relación:

$$DMoh's = 10^{0.3913 \times \log(Vickers) - 0.3573}$$