

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL**



**GEOTECNIA PARA EL DISEÑO DEL TUNEL
YANANGO**

INFORME DE SUFICIENCIA

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO CIVIL

MARÚ DIONICIO CARRANZA MIRANDA

LIMA- PERÚ

2015

DEDICATORIA

A Dios por darme sus bendiciones y fortaleza para continuar en los momentos difíciles.

Dedico mi triunfo profesional a mi familia por su apoyo moral y espiritual.

A la Universidad Nacional de Ingeniería por la formación académica brindada.

	Pág.
RESUMEN.....	4
LISTA DE TABLAS.....	5
LISTA DE FIGURAS.....	7
INTRODUCCION.....	8
CAPÍTULO I: GENERALIDADES.....	9
1.1 OBJETIVO.....	9
1.2 UBICACIÓN.....	10
1.3 CLIMA.....	10
CAPÍTULO II: ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN TÉCNICA EXISTENTE.....	11
2.1 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN TÉCNICA EXISTENTE	12
CAPÍTULO III: GEOLÓGIA DEL PROYECTO.....	13
3.1 MARCO GEOLÓGICO REGIONAL	13
3.2 MARCO GEOLÓGICO LOCAL.....	15
3.3 LITOLOGÍA Y ESTRATIGRAFÍA.....	15
3.3.1 Rocas Ígneas (Basamento Rocoso Local).....	15
3.4 GEODINÁMICA EXTERNA	19
3.4.1 Derrumbes en la Quebrada Umanpaccha	20
3.4.2 Derrumbes en la Quebrada Yanango	20
3.4.3 Colmatación del Cono de Deyección.....	21
3.5 ASPECTO SÍSMICO DE LA ZONA	21
CAPÍTULO IV: INVESTIGACIONES GEOLÓGICAS – GEOTÉCNICAS.....	22
4.1 ESTRUCTURAS GEOLÓGICAS DISCONTINUIDADES.....	22
4.2 MÉTODO GEOFÍSICO	23
4.3 SONDEOS.....	28
4.4 ENSAYOS GEOTECNICOS IN SITU	30
4.4.1 Ensayos de Permeabilidad	31
CAPÍTULO V: ENSAYOS DE LABORATORIO.....	33

5.1	ANÁLISIS PETRO-MINERAGRÁFICO.....	34
5.2	ENSAYOS DE MECÁNICA DE ROCAS.....	35
5.2.1	Propiedades Físicas	35
5.2.2	Resistencia a la Compresión Simple	35
5.2.3	Ensayo de Carga Puntual (Point Load Test).....	36
5.2.4	Resistencia a la Compresión Triaxial.....	37
5.2.5	Propiedades Elásticas	38
5.2.6	Ensayo de Corte Directo.....	39
5.3	ENSAYOS DE MECANICA DE SUELO	39
	CAPÍTULO VI: EVALUACIÓN GEOMECÁNICA.....	41
6.1	PROPIEDADES DE LA ROCA INTACTA.....	41
6.1.1	Parámetros Geotécnicos de la Roca Intacta.....	41
6.2	CARACTERÍSTICAS DE LAS DISCONTINUIDADES.....	42
6.3	RESISTENCIA DE LAS DISCONTINUIDADES.....	43
6.4	EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL MACIZO ROCOSO	45
6.4.1	Clasificación Geomecánica del Macizo Rocoso	45
6.4.2	Evaluación Geomecánica de Bieniawski RMR	45
6.4.3	Clasificación de Barton (Índice Q)	47
6.4.4	Índice de Resistencia Geológica GSI	48
6.4.5	Criterio de Resistencia Hoek-Brown (2002).....	49
6.4.6	Zonificación e Índices de Calidad del Macizo del Túnel Proyectado	50
	CAPÍTULO VII: ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES.....	51
7.1	MÉTODOLOGIAS DE CÁLCULO.....	51
7.2	METODOLOGÍA DE DISEÑO	52
7.2.1	Factores de Seguridad Permisibles	52
7.2.2	Análisis de Estabilidad Global del Portal de Entrada	52
7.2.3	Análisis de Estabilidad del Portal de Salida– Método Cinemático.	54
	CAPÍTULO VIII: ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DEL TÚNEL.....	57
8.1	DISEÑO DE SOSTENIMIENTO DEL TÚNEL -ÍNDICE Q.....	57
8.1.1	Análisis por Cuñas (Unwedge)	58
8.1.2	Modelamiento de las Secciones del Túnel Yanango	59
8.1.3	Diseño Propuesto	60

CAPÍTULO IX: PROCESO CONSTRUCTIVO.....	61
9.1 PROCESO CONSTRUCTIVO EN SUELO COLUVIAL.....	61
9.2 PROCESO CONSTRUCTIVO TRAMOS DE ROCA IIIA Y IIIB.....	63
9.3 PROCESO CONSTRUCTIVO TRAMOS DE ROCA IVA.....	63
CAPÍTULO X: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	65
10.1 CONCLUSIONES	65
10.2 RECOMENDACIONES.....	67
BIBLIOGRAFÍA.....	68
ANEXOS.....	69

RESUMEN

La realización de túneles y obras subterráneas ha conocido un importante incremento y evolución en los últimos cuarenta años en todo el mundo. El Perú no es la excepción. Las razones fundamentales han sido la construcción de vías rápidas de transporte que cruzaban áreas de montañas, las obras hidráulicas, cruzar zonas con problemas geodinámicos especiales, el desarrollo del espacio subterráneo industrial y urbano de las ciudades cada día más congestionadas.

Las obras subterráneas, al igual que las excavaciones, cimientos y otras obras de tierra, se diferencian de los diseños estructurales por producirse en formaciones geológicas, caracterizadas en general por su heterogeneidad y anisotropía, cuyo conocimiento resulta en la práctica siempre limitado. Ante esta situación, solo queda realizar una evaluación geológica e investigación geotécnica previa más intensa que lo habitualmente acostumbrado, con objeto de reducir el nivel de incertidumbre a un límite admisible. Emplear las herramientas teóricas adecuadas para el análisis geológico geotécnico, considerando que en un proyecto de túnel, la rama geológica geotécnica es de mayor incidencia.

El presente informe plantea la metodología seguida para un adecuado diseño geotécnico del Túnel Yanango, sugerido como consulta debido a la particularidad del proyecto. El túnel se desarrolla sobre suelo, roca y parte del tramo atraviesa bajo la quebrada Yanango.

LISTA DE TABLAS

Tabla 4.1. Principales Ensayos Geofísicos.....	23
Tabla 4.2. Velocidades de Ondas P(Arce Helberg (1990)).....	24
Tabla 4.3. Velocidades de Ondas P (ASTM D 5777 - 95).....	25
Tabla 4.4. Velocidades de Ondas P (Martínez Vargas A. (1990)).....	25
Tabla 4.5. Resultados e Interpretación de los Ensayo de Refracción Sísmica...26	
Tabla 4.6. Resultados e Interpretación de Ensayo de Refracción Sísmica.....	26
Tabla 4.7. Resultados e Interpretación de Ensayo de Refracción Sísmica.....	27
Tabla 4.8. Resultados e Interpretación de Ensayo de Refracción Sísmica.....	27
Tabla 4.9. Resultados e Interpretación de Ensayo de Refracción Sísmica.....	28
Tabla 4.10. Sondeos Ejecutados en los Portales de Entrada.....	29
Tabla 4.11. Principales Características de los Ensayos In situ.....	30
Tabla 4.12. Resumen de Ensayos tipo Lugeon.....	31
Tabla 4.13. Resumen de Ensayos tipo Lefranc.....	32
Tabla 5.1. Principales Ensayos de Laboratorio en Roca.....	33
Tabla 5.2. Principales Ensayos de Laboratorio en Suelo.....	34
Tabla 5.3. Resultados del Análisis Petro-minerográfico.....	35
Tabla 5.4. Resultados de Propiedades Físicas.....	35
Tabla 5.5. Ensayos de Compresión Simple Muestras de Perforación.....	36
Tabla 5.6. Ensayos de Compresión Simple Muestra Superficial.....	36
Tabla 5.7. Ensayos de Carga Puntual.....	37
Tabla 5.8. Ensayos de Compresión Triaxial Muestras de Peforación.....	38
Tabla 5.9. Propiedades Elásticas de la Matriz Rocosa.....	38
Tabla 5.10. Parámetros de Resistencia de la Matriz Rocosa.....	39
Tabla 5.11 Clasificación Geotécnica de Suelo.....	40
Tabla 5.12. Parámetros de Resistencia del Suelo.....	40
Tabla 6.1. Parámetros de Resistencia y Elasticidad de la Roca Intacta.....	41
Tabla 6.2. Parámetros de Resistencia y Elasticidad de la Roca Intacta.....	42
Tabla 6.3. Propiedades de Resistencia de las Discontinuidades.....	44
Tabla 6.4. Valoración de RMR de Estaciones Geomecánicas Puntuales.....	46
Tabla 6.5. Valoración de RMR Línea de Detalle.....	46
Tabla 6.6. Valoración del Índice Q.....	47
Tabla 6.7. Valoración mi.....	50
Tabla 6.8. Zonificación Características del Macizo Rocoso.....	50

Tabla 6.9. Sectorización Final del Túnel Yanango.....	50
Tabla 7.1: Factores de Seguridad Para el Diseño de Taludes.....	52
Tabla 7.2. Parámetros Empleado en el Análisis de Estabilidad.....	53
Tabla 7.3. Factores de Seguridad Obtenidos.....	53
Tabla 7.4. Factores de Seguridad Obtenidos.....	56
Tabla 8.1. Determinación del Factor ESR.....	57
Tabla 8.2. Soporte y Refuerzo Recomendado por el Sistema Q.....	58
Tabla 8.3: Sectorización Final del Túnel.....	58
Tabla 8.4. Diseño de Sostenimiento del Túnel.....	60
Tabla 8.5. Diseño de Sostenimiento del Túnel.....	60
Tabla 8.6. La Sectorización Final del Túnel.....	60
Tabla 10.1. Factores de Seguridad Permisibles.....	66
Tabla 10.2. Zonificación Características del Macizo Rocoso.....	66
Tabla 10.3. Sectorización Geológica Geotecnica del Túnel.....	66

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1. Ubicación del Proyecto del Túnel Yanango – San Ramón.....	10
Figura 1.2: Esquema para el Análisis de la Información Existente.....	11
Figura 2.1. Fotografía Aérea Tomado en el Año de 1962.....	12
Figura 2.2. Fotografía Aérea Tomado en el Año de 2006.....	12
Figura 3.1. Zonificación Estructural de la Región Central del Perú.....	13
Figura 3.2. Mapa Geológico Regional.....	14
Figura 3.3. Mapa Geomorfológico – Geodinámica de la Cuenca Yanango.....	14
Figura 3.4. Perfil Longitudinal del Túnel Yanango.....	15
Figura 3.5. Perfil Estratigráfico de la Quebrada Yanango.....	15
Figura 3.6. Panorámico de la Geología Local de la Quebrada Yanango.....	16
Figura 3.7. Vista de Depósitos de Deslizamiento en Ambos Márgenes.....	18
Figura 3.8. Mapa Geológico Local de Proyecto.....	19
Figura 3.9. Quebrada Umanpaccha – Diagrama de Flujo.....	20
Figura 3.10. Mapa de Iso-Aceleraciones del CISMID – UNI.....	21
Figura 4.1. Estructuras Geológicas.....	22
Figura 4.2. Disposición en el Campo Método Refracción.....	24
Figura 6.1. Familias de Discontinuidades Registradas en la Granodiorita(L1)...	42
Figura 6.2. Familias de Discontinuidades Registradas en la Granodiorita(L2)...	42
Figura 6.3. Familias de Discontinuidades en la Granodiorita/Diorita(L3).....	43
Figura 6.4 Familias de Discontinuidades Registradas en la Gneis(L4).....	43
Figura 6.5. Resistencia de la Discontinuidad de la Granodiorita P 01.....	44
Figura 6.6. Resistencia de la Discontinuidad de la Granodiorita P 03.....	44
Figura 6.7. Índice de Resistencia Geológica (GSI). Ref. Marinos & Hoek, 2000.	48
Figura 7.1. Análisis de Estabilidad de Taludes Portal de Entrada.....	54
Figura 7.2. Análisis de Estabilidad- Método Cinemático Portal de Salida.....	55
Figura 7.3. Análisis de Estabilidad de Taludes Portal de Salida.....	56
Figura 8.1. Sostenimiento Según el Índice Q.....	57
Figura 8.2. Familias de Discontinuidades y el Análisis de Estabilidad de Cuñas.....	59

INTRODUCCION

El objetivo central de la realización del presente informe es de proveer una metodología, que sirva como consulta para a aquellos profesionales que en su práctica habitual se enfrentan a proyectos del tipo túnel.

En el capítulo I, se desarrolla aspectos generales del proyecto.

En el capítulo II, trata la revisión y análisis de la información existente, se identifican probables problemas que serán considerados en la planificación de posteriores actividades. La información que se analiza consiste en: mapas, planos topográficos, cartas geológicas, fotografías aéreas y estudios anteriores, constituye la primera etapa de la metodología a seguir para un diseño geotécnico adecuado de un túnel

En el capítulo III, se desarrolla la geología, geomorfología, litología y geodinámica. Se identifican los problemas y condiciones geológicas del medio donde se proyecta el túnel.

En el capítulo IV, comprende el desarrollo de las investigaciones geológicas geotécnicas. Se caracteriza geoestructuralmente del macizo rocoso, se realizan investigaciones de manera secuencial, comenzando con investigaciones indirectas (geofísica), seguida de las directas (sondeos, calicatas, etc.) y ensayos *insitu*.

En el capítulo V, se desarrollan los ensayos de laboratorio (muestras de suelo, roca y/o agua), con el propósito de conocer sus propiedades: físicas, mecánicas, de resistencia, químicas y la descripción petro-mineragráfica.

En el capítulo VI, se desarrolla la evaluación geomecánica. el propósito es sectorizar y construir el modelo geológico geotécnico del túnel, para lo cual se recurre a la aplicación de metodologías reconocidas: RMR (Bieniawski, 1989), Q (Barton, 1974) y GSI (Hoek, 1995).

En el capítulo VII, se desarrolla la estabilidad de los taludes de cortes proyectados en los accesos (portales de ingreso y salida).

En el capítulo VIII, se desarrolla la estabilidad del túnel, se emplean métodos empíricos y modelamiento numérico. Como resultado final se proponen los sostenimientos del túnel.

En el capítulo IX se describe el proceso constructivo a seguir para las diversas zonificaciones del túnel.

En el capítulo X, se plantean las conclusiones y recomendaciones.

CAPÍTULO I: GENERALIDADES

El proyecto Especial de Infraestructura de Transporte Nacional del Ministerio de Transportes y Comunicaciones – PROVIAS NACIONAL, está encargado de las actividades de preparación, gestión, administración y ejecución de proyectos de infraestructura. Tal es el caso del Puente Yanango, ubicado en la Quebrada del mismo nombre, que es deficitario para el paso de Vehículos, de esta manera genera pérdidas de tiempo y dinero a los usuarios.

El puente sobre la quebrada Yanango en la vía Tarma-La Merced, colapsó a fines del año 2005, como consecuencia de un huayco extraordinario en dicha quebrada. Actualmente el cruce se realiza por un puente colgante para vehículos ligeros, los pesos lo hacen ser un vado.

La población, las autoridades y las empresas de las localidades de la zona de influencia, que abarca tres departamentos del centro del país, vienen solicitando la implementación de una solución definitiva para el cruce de esta quebrada, ya que el actual vado implica mayor tiempo de viaje, mayores costos de transporte, y eventualmente se producen accidentes en épocas de crecientes, los cuales podrían reducirse o evitarse al implementarse la solución materia del presente estudio.

Por lo que se requiere “Contar con Fácil Acceso y con Seguridad al cruzar la Quebrada Yanango, mediante la construcción de un Túnel”, reduciendo costos de transporte y tiempo de espera de los usuarios y sobre todo, evitar que los usuarios estén en riesgo permanente al tener que cruzar la quebrada en condiciones inseguras.

1.1 OBJETIVO

Objetivo Principal:

Obtener el título de Ingeniero civil

Establecer la metodología a seguir para el diseño geotécnico de un túnel.

Objetivos Específicos:

Definir el marco teórico para un adecuado diseño de un túnel. Aplicar la metodología geotécnica para el túnel Yanango.

1.2 UBICACIÓN

Departamento / Región : Junín

Provincia : Chanchamayo

Distrito : San Ramón

Región Geográfica : Yunga

Centros Poblados : Quebrada Yanango

Ruta : PE-22A Tramo Desvío Las Vegas – Tarma

La Merced (km 77+100)

Se ubica en las siguientes coordenadas UTM:

Norte 9'550,000.00

Este 500,410.00

Altitud 1690 msnm (promedio)



Figura 1.1: Ubicación del Proyecto del Túnel Yanango – San Ramon.

1.3 CLIMA

La zona de Yanango que constituye parte de los valles de la Provincia de Chanchamayo (selva baja), tienen un clima tropical, cálido y húmedo, con una temperatura promedio de 24°C (75°F), una máxima de 32°C (90°F) y una mínima de 14°C (57°F), con lluvias periódicas de Diciembre a Marzo.

CAPÍTULO II: ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN TÉCNICA EXISTENTE

Con el propósito de tomar conocimiento del proyecto, el cual permitirá planificar y prever problemas durante el desarrollo del proyecto, se recurre a la revisión de la información existente, un esquema es presentado en la siguiente figura:



Figura 1.2: Esquema para el Análisis de la Información Existente.

Fuente: "Exposición de Tunelería " 2011, Victor Tolentino Yparraguirre Msc.

Para el informe del túnel Yanango se revisó y analizó la siguiente información:

- Plano Topográfico de la Zona de Estudio.
- SENAMHI. Estudio "La Hidrología del Perú". 1983
- Boletín geológico (Nº 98) de los cuadrángulos de la Merced (23-m) y de Tarma (23-l).
- Mapas geológicos del Cuadrángulo de la Merced (Hoja 23-m) - INGEMMET escala 1/100 000.
- Mapas geológicos del Cuadrángulo de Tarma (Hoja 23-l). - INGEMMET escala 1/100 000.
- Mapas Topográficos - IGN, escala 1/25 000.
- Mapa de Vías del Perú – MTC
- Fotografías aéreas del año 1951
- Imágenes satelitales año 2009.
- Estudios anteriores.

2.1 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN TÉCNICA EXISTENTE

- La topografía tiene concordancia entre las curvas de nivel y la forma del terreno, por consiguiente la información topográfica tiene el detalle suficiente el cual permitirá realizar el levantamiento geológico y seccionamiento para el perfil estratigráfico del estudio.
- La información del Boletín Geológico (Nº 78) del cuadrángulo de la Merced (23 m) y de Tarma (23 I), publicado por el INGEMMET, al igual que los mapas geológicos, la carta nacional y las imágenes satelitales, son útiles para evaluar la Geología Regional, la Geomorfología Regional, las condiciones climáticas y la Geodinámica en el área del proyecto.
- Se cuenta con fotografías aéreas del proyecto 72-60B de los años 1962 - 1963, de los cuales se tienen tres fotografías con código 34521, 34522 y 34523, tomados el 20 de noviembre de 1962 y dos fotografías aéreas con código; 44970 y 44971, tomados en 26 junio del año 1963. Los cuales fueron parte fundamental para la definición y determinación regional de la Geodinámica Externa de la Cuenca Yanango.
- Para los mapeos locales fueron Utilizados las fotografías aéreas del proyecto "Zona Crítica de Yanango" de los años 1962 y 2006. Siendo la base fundamental en los mapeos geológicos locales, para ser complementados con los trabajos de campo.



Figura 2.1: Fotografía Aérea Tomado en el año de 1962



Figura 2.2: Fotografía Aérea Tomado en el año de 2006

CAPÍTULO III: GEOLÓGIA DEL PROYECTO

3.1 MARCO GEOLÓGICO REGIONAL

El área comprendida por el proyecto “Construcción del Túnel Yanango y accesos”, se ubica en la margen derecha del río Tarma; Valle Fluvial de Sección Transversal en forma de V, la misma que se emplaza entre dos grandes unidades morfoestructurales, como son la Cordillera Occidental y parte de Noreste del Altiplanicie, las cuales controlan el equilibrio de la zona en estudio y se asocian a otra estructura menor que tiene influencia directa, como el Sinclinario de San Ramón y el Anticlinario de Comas-Tambo.

El comportamiento estructural, litoestratigráfico y el equilibrio ecológico se encuentra influenciado por las dos grandes unidades morfoestructurales arriba mencionados.



Figura 3.1: Zonificación Estructural de la Región Central del Perú.

Litológicamente, la zona del proyecto está constituido por gneis y granodiorita, que han sido formados durante el Neoproterozoico, y que corresponden al complejo Metamórfico de Maraynioc. Los depósitos inconsolidados y de

cobertura reciente se encuentran conformados por sedimentos aluviales, coluviales y fluviales. En la figura N° 3.2, se presenta la geología regional.

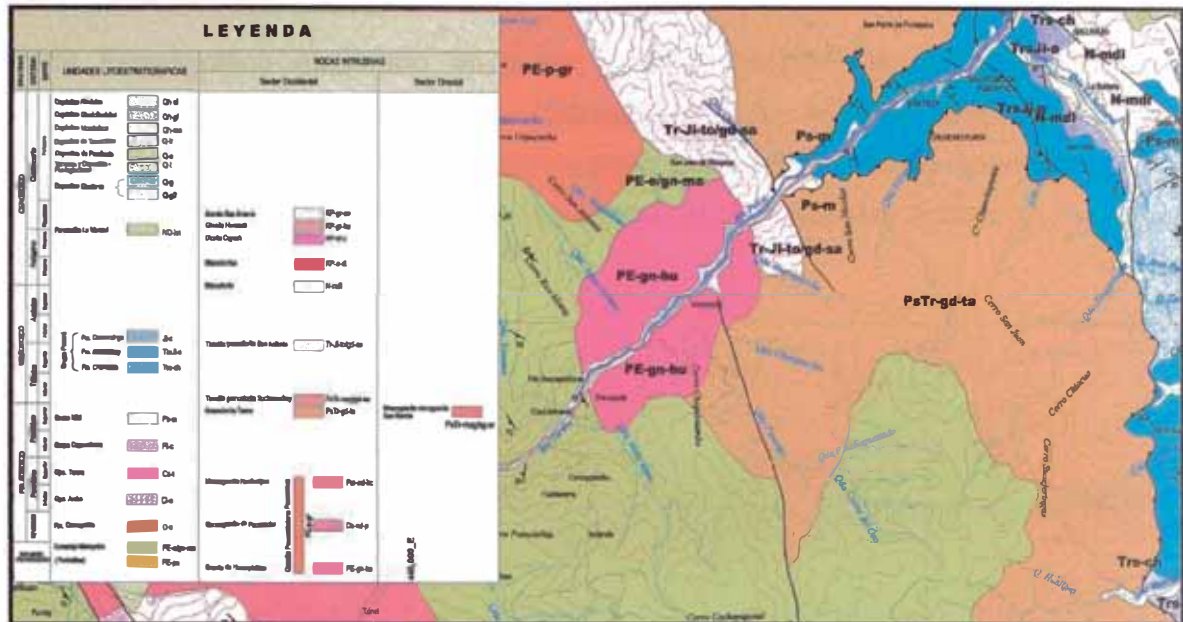


Figura 3.2: Mapa Geológico Regional.

Como antecedente se tiene que la Quebrada arrastra estos materiales muy gruesos que quedan colmatando el cauce y elevando el gálibo hasta dejar sin luz al puente antiguo. Este fenómeno afecta el Km. final de la Quebrada en épocas de avenidas.

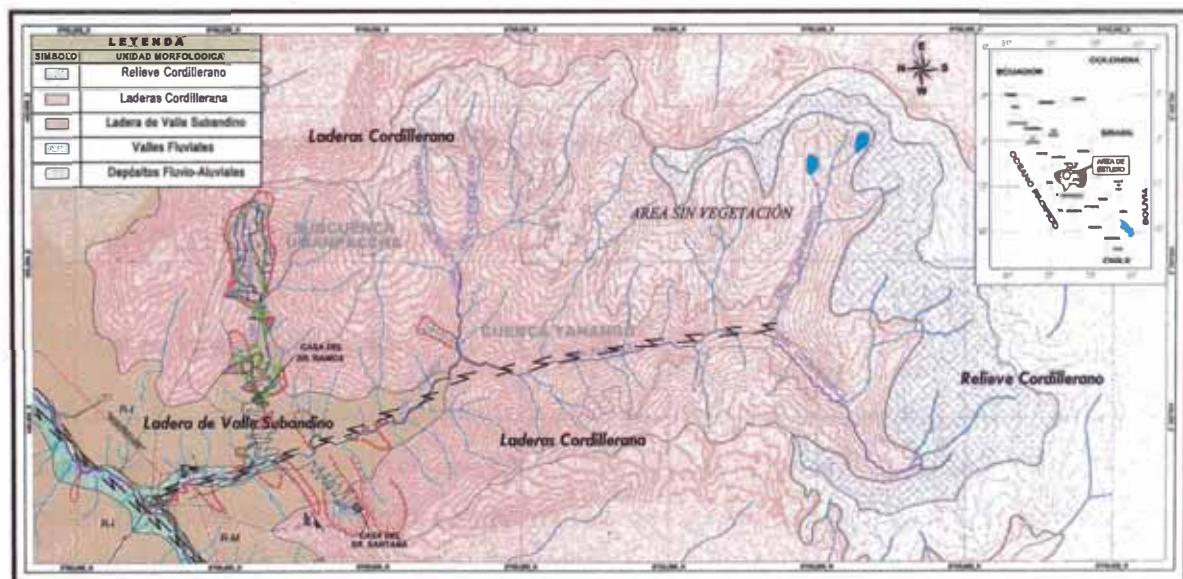


Figura 3.3: Mapa Geomorfológico – Geodinámico de la Cuenca Yanango.

3.2 MARCO GEOLÓGICO LOCAL

Perfil Estratigráfico elaborado en base a la información de los taladros Diamantinos y de los registros de Sondajes de los estudios anteriores, complementado con los perfiles sísmicos y observaciones directas en recorridos de campo de los afloramientos rocosos se aprecia en las siguientes figuras:

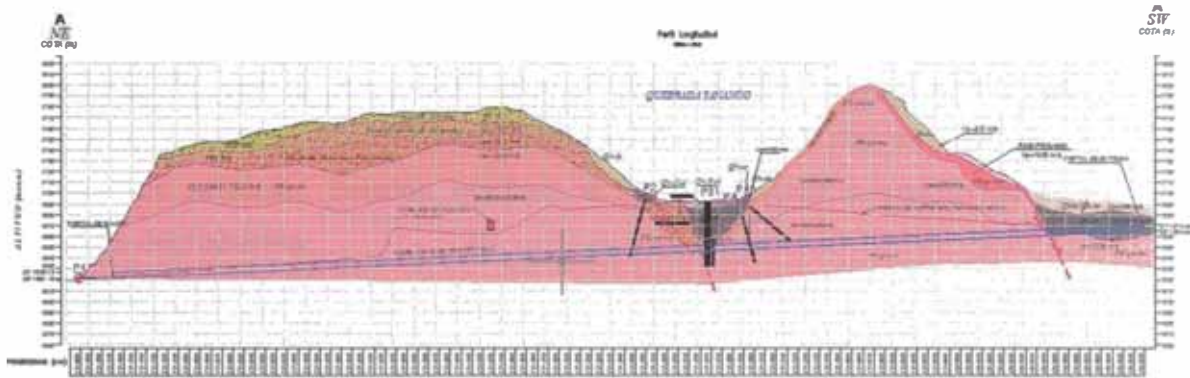


Figura 3.4: Perfil longitudinal del Túnel Yanango.

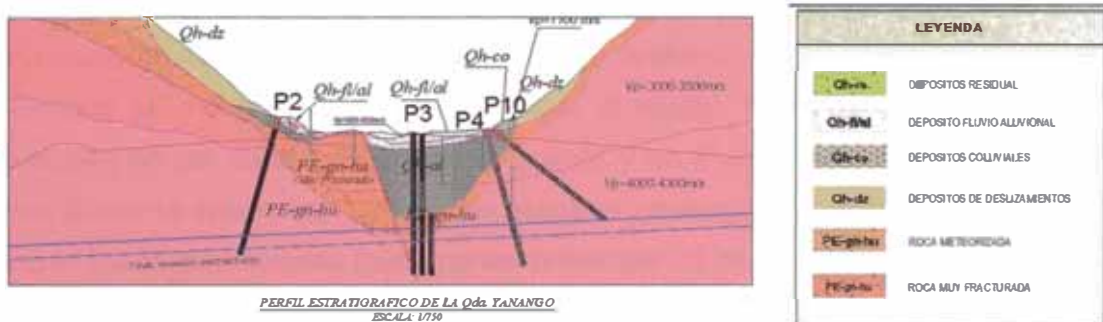


Figura 3.5: Perfil Estratigráfico de la Quebrada Yanango.

3.3 LITOLOGÍA Y ESTRATIGRAFÍA

3.3.1 Rocas Ígneas (Basamento Rocoso Local)

Conformados por un complejo ígneo donde predominan gneiss plutónicos del Grupo Huacapistana (Neoproterozoico) distribuido en sistemas concéntricos de dioritas-granodiorita-tonalita-monzogranito-granito gneisificado y sectores con granodiorita-tonalita del Paleozoico Superior.

El Gneis de Huacapistana (Neoproterozoico Terminal) (pe-gn-hu)

Son rocas intrusivas que cortan a los esquistos del Complejo Maraynioc y están conformadas por soneamientos de rocas graníticas, granodioríticas hasta dioríticas, localmente ocupan ambas márgenes del río Tarma y presentan un ligero a moderado metamorfismo.

Las Rocas metamórficas tienen abundante foliación y bandeamiento con diferentes rumbos y buzamientos

En general los afloramientos de macizo rocoso de basamento están ablandados o disgregados por la proporción elevada de minerales degradables y las condiciones climáticas. Los incosolidados recubrientes son inestables y se hallan en continua evolución debidos también al factor climático y proporción de minerales degradables.

Cenozoico

CUATERNARIO RECIENTE

Estos depósitos constituyen el material de cobertura generalmente no consolidado, distribuido irregularmente en la zona; estos se han acumulado como resultado de procesos glaciares, aluviales, fluviales y en algunos casos por fenómenos de movimientos de masa. Estos depósitos presentan una mayor distribución en las áreas adyacentes al puente y en el valle subandino del río Tarma donde se encuentran tanto como aluviales y/o escombros de talud.

Las principales formaciones cuaternarias presentes en el área del proyecto, se describen brevemente líneas abajo.



Figura 3.6: Panorámico de la Geología local de la Quebrada Yanango.

a) Depósito Fluvio - Aluvionales (Qh-fl/al)

Los depósitos fluviales están constituidos por sedimentos que se acumularon recientemente a partir de la actividad de la Quebrada Yanango y los procesos de deslizamiento por gravedad asociados.

Mayormente éstos tienen 60% de bloques y bolones subredondeados a redondeados de hasta 3 m. de diámetro; 20% de gravas y cantos de hasta 20 cm., 15% de gravas hasta de 6 cm. de diámetro englobados en matriz gravo-arenosa.

b) Depósito Aluviales (Qh-al)

Las acumulaciones de materiales inconsolidados recubrientes del fondo de la Quebrada son polimícticos y están conformados por depósitos fluvio-aluvionales antiguos que se hallan en las terrazas antiguas (T-1) de hasta 30 m. de altura o terrazas T-2 y T-3 ubicadas a ambos márgenes del Río Tarma - Palca, Quebradas Yanango. Estos depósitos están conformados por grandes bloques y gravas de rocas, envueltos por una matriz areno-arcillosa.

También hay acumulaciones de escombros de pendiente distribuidos en las laderas de las quebradas en relación con el abundante fracturamiento de los plutones gnéisicos. El espesor del suelo recubriente en este caso llega hasta 3.0 m. de espesor y está conformado por restos desintegrados de los minerales degradables, que ha formado material limo-arcilloso (suelos finos-podzolicos).

d) Depósito Coluvial (Qh-co)

Están constituidos por depósitos de ladera, los cuales son rocas subangulares a angulares sueltas fragmentadas en matriz limo-arenosa; unidad que se presenta cubriendo los taludes emplazados por debajo de los afloramientos rocosos de moderada potencia.

En la zona del proyecto se aprecia en la margen derecha de la quebrada Yanango desde el Puente hasta aproximadamente 100 m., y en el Portal de Acceso proyectado, en la zona del Campamento de PROVIAS.

e) Depósito de Deslizamiento (Qh-dz)

Esta unidad está conformada por depósitos de material deslizado constituido por gravillas y rocas fragmentadas en matriz limo arcillosa con arena, también se aprecia rocas subangulares a angulares sueltas; unidad que se presenta

cubriendo los taludes por debajo de los afloramientos rocosos llegando hasta el borde y el fondo del valle del río Tarma.

Estos depósitos constituyen, todas las masas rocosas y/o suelos que han sufrido deslizamientos. En los mapas geológicos se han ubicado los principales aluviones y escarpas de deslizamientos. Estos deslizamientos se han originado debido a la influencia de las condiciones litológicas y estructurales de las rocas, ya que éstas se hallan fuertemente fracturadas. A esto se suma la topografía muy accidentada y sobre todo la presencia de agua de lluvias, que ha sido el factor desencadenante de estos fenómenos.

En las figuras se muestran estos depósitos definidos, y su mayor presencia en la zona se observa en ambos márgenes de la quebrada Yanango, así como en la parte de parte del Campamento de PROVIAS.



Figura 3.7: Vista de depósitos de Deslizamiento en ambos Márgenes.

f) Depósito Antropogénicos(Qh-an)

Estos depósitos están conformados en la zona por material de corte y relleno. El material de corte y relleno está formado por materiales del mismo lecho de la Quebrada y rocas intrusivas del lugar, suelo residual y roca meteorizada,

En la zona se aprecia en la margen derecha de la Quebrada Yanango específicamente en el Puente del mismo nombre, en los encauzamientos y en la zona donde está ubicado la cantera de agregados.

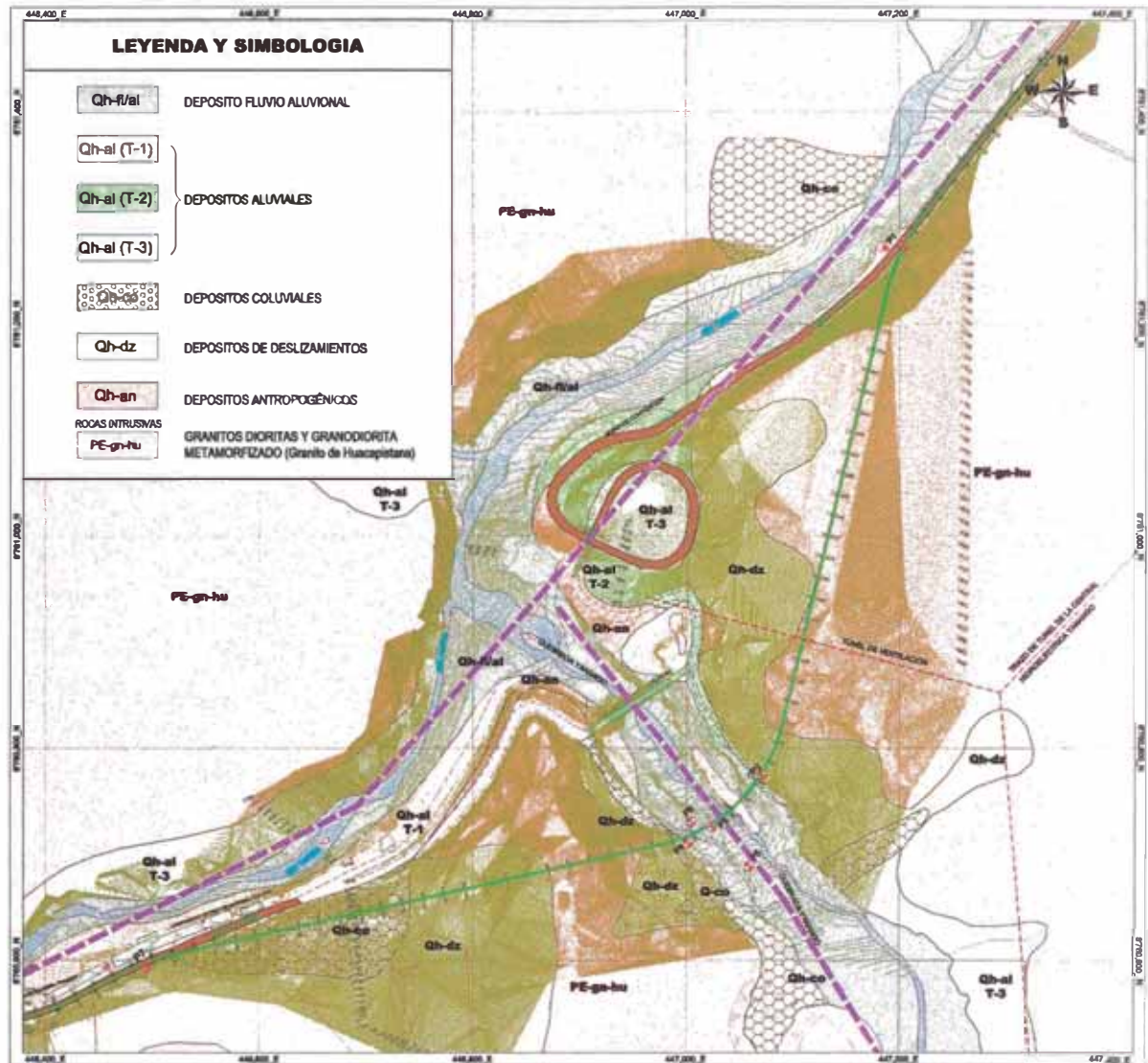


Figura 3.8: Mapa Geológico Local de Proyecto.

3.4 GEODINÁMICA EXTERNA

Los procesos geodinámicos se circunscriben en dos categorías principales: uno de origen hídrico (inundaciones, erosión de riberas), dominado por el curso de la quebrada Yanango y sus tributarios y otro de origen hídrico-gravitacional (procesos gravitacionales de mayor rango), que caracterizan las quebradas altas favorecidas por el clima y la topografía.

En general se podrían definir como dos amenazas importantes, como son las inundaciones comunes en esta parte de la selva alta y la erosión fluvial, que ocurre con las máximas avenidas, siendo un proceso periódico.

3.4.1 Derrumbes en la Quebrada Umanpaccha

En los taludes inestables de la cuenca de Umanpaccha, concurren negativamente los factores: geológicos, geomorfológicos, hidrológicos, granulométricos y grado de saturación del material del lecho del río y de los taludes para que se produzcan derrumbes y huaycos de gran magnitud.

Se ha estimado que anualmente la quebrada Umanpaccha aporta 1,771,612.4m³. Se estimaron el potencial de escombros por aportar en los siguientes años, el volumen estimado es de 21.436.905,6m³ aporte de 23 derrumbes identificados.

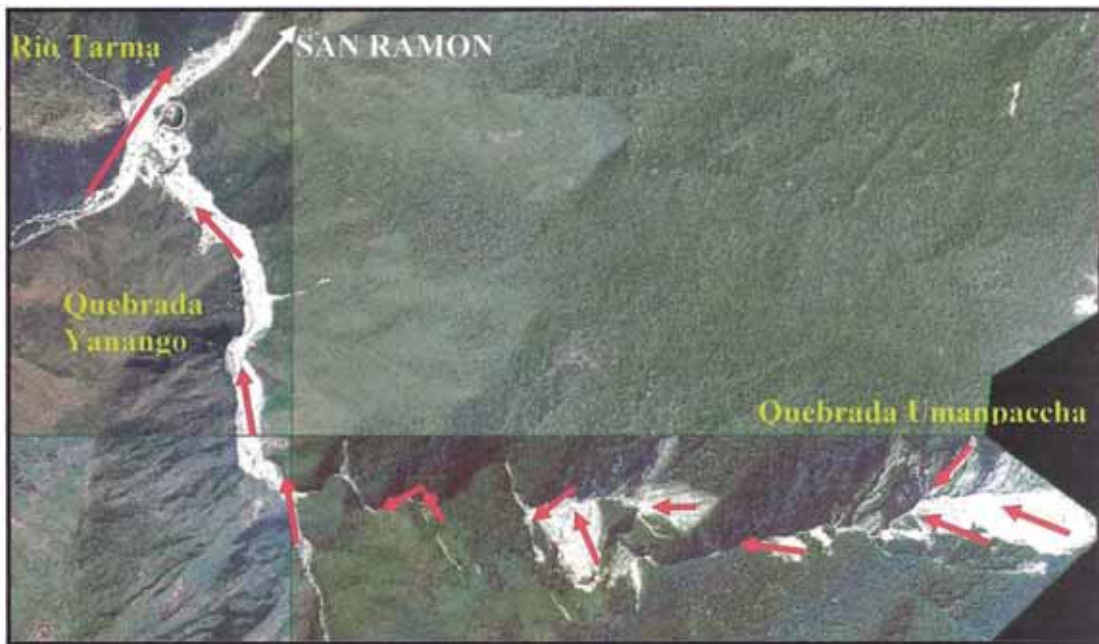


Figura 3.9: Quebrada Umanpaccha – Diagrama de Flujo de los Escombros.

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones(MTC).

3.4.2 Derrumbes en la Quebrada Yanango

Los derrumbes de la cuenca principal son numerosos e inactivos en parte de ellos conformados también la meteorización de gneis, pero no tienen la connotación y gravedad de los de Umampaccha. Comparando las áreas del derrumbe en la cuenca Yanango esta viene a ser un 10% los derrumbes de la quebrada Umanpaccha convirtiéndose el de mayor aporte de flujos de lodos y roca.

3.4.3 Colmatación del Cono de Deyección

Se habría venido produciendo en forma progresiva desde hace algunos años, recién a fines del año 1998 se acentúa y hace preocupante este fenómeno en las estructuras existentes. Las causas de este problema se encuentran en la ocurrencia de huaycos provenientes de la quebrada Umanpaccha que transporta miles de metros cúbicos de rocas y sedimentos gruesos que bajaron hasta depositarse en mayor volumen en la confluencia con el río Tarma.

3.5 ASPECTO SÍSMICO DE LA ZONA

El Perú es considerado como una de las regiones de más alta actividad sísmicas. Según el mapa de iso-aceleraciones del CISMID – UNI, la máxima aceleración presentada con una excedencia de 25 - 30% en 10 años de vida útil es de 0.27g, en la roca madre, dicho valor se atenuará debido a la profundidad del foco, dependiendo del tipo de análisis al cual será empleado.

En el caso de utilizarse en el diseño del túnel y taludes, para el análisis pseudoestático, se recomienda una aceleración de $\frac{1}{2}$ de la máxima aceleración, que es 0.14g.

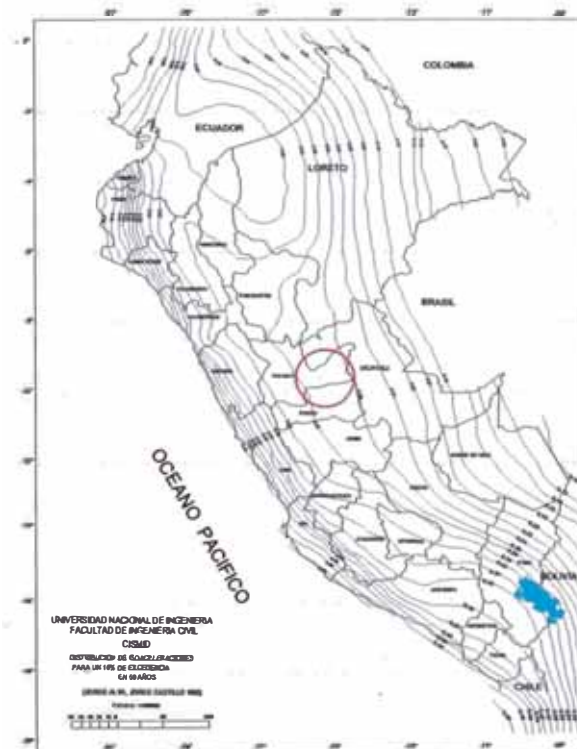


Figura 3.10: Mapa de Iso-Aceleraciones

Fuente: CISMID – UNI

CAPÍTULO IV: INVESTIGACIONES GEOLÓGICAS - GEOTÉCNICAS

Para alcanzar los objetivos de una adecuada investigación geológica geotécnica del emplazamiento del túnel a proyectar, se dispone de los siguientes medios:

- Levantamiento de discontinuidades
- Técnicas geofísicas
- Sondeos
- Ensayos in situ

4.1 ESTRUCTURAS GEOLÓGICAS DISCONTINUIDADES

Como parte fundamental del estudio de estructuras geológicas, presentes en la zona de influencia donde se proyecta el túnel, se deben de distinguir los tipos de estructuras que están presentes en la roca. Su objetivo es identificar sus características e influencia en aspectos como:

Inestabilidad por presencia de falla, la tendencia estructural definida como un plegamiento, efectos de las discontinuidades en las operaciones de voladura. En la siguiente figura se presenta un esquema de estructuras a considerar en las evaluaciones:



Figura 4.1. Estructuras Geológicas

Fuente: Codelcoeduca

Para evaluar las estructuras en el túnel Yanango se emplearon dos métodos de mapeos: el primero fue con el método de forma puntual en afloramiento de macizos rocoso y el segundo con el método de línea de detalle o registró lineal (scan-line).

Los parámetros de las discontinuidades cuantificados son: orientación, espaciamiento, persistencia (longitud), rugosidad de las paredes, resistencia de las paredes, meteorización de las paredes, abertura, relleno y tamaño de bloques. En la caracterización se han utilizado los parámetros estandarizados por la Sociedad Geológica de Londres y Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas (ISRM).

Por el método puntual se realizaron 17 estaciones geomecánicas (E1 a E17) y por línea de detalle en cuatro estaciones identificadas como L-1, L-2, L-3 y L-4, de las cuales, las dos primeras se ubicaron en la salida del túnel y la tercera se ubica en la Quebrada y la última en el portal de entrada del Túnel Yanango.

Las características cuantitativas de las discontinuidades fueron evaluadas con ayuda del programa DIPS v. 5.1 (Rocscience).

4.2 MÉTODO GEOFÍSICO

Existe una variedad de métodos geofísicos, las cuales deben aplicarse acorde con las características particulares de la obra y objetivos trazados. Por ser considerados métodos indirectos los resultados deben ser correlacionados con métodos directos (sondeos, calicatas, etc). En la siguiente figura se presenta las principales características de los métodos geofísicos:

Tabla 4.1. Principales Ensayos Geofísicos

MÉTODO	PARÁMETRO MEDIDO	PARÁMETRO DE INTERPRETACIÓN	ALCANCE (m)	APLICACIÓN	COSTE
Sísmica de refracción	t (μs)	Contraste vertical de velocidades	20	espesor recubrimiento y alteración (módulos dinámicos)	Medio
Eléctrico (SEV)	ρ (Ω)	Contraste vertical de resistividades	100	freático, litologías	Bajo
Eléctrico (calicatas)	ρ (Ω)	Contraste horizontal de resistividades	75	fracturas	Bajo
Electromagnéticos	VEM ($\mu V/A$)	Resistividad aparente	100	fracturas, freático	Medio
Georadar	t (μs)	Reflexión ondas EM	35	fracturas, oquedades, litologías	Medio
Diagrafías	depende de la herramienta		—	fracturas, módulos dinámicos, litologías	Alto

Fuente: Geocontrol S.A.

El método de investigación geofísica empleado en el túnel Yanago, es la sísmica de refracción.

Método de Refracción Sísmica

El ensayo de refracción sísmica consiste en la medición de los tiempos de viaje de las ondas compresionales (Ondas P) generadas por alguna fuente de energía impulsiva a unos puntos localizados a diferentes distancias a lo largo de un eje sobre la superficie del suelo.

Todas las formas de análisis manejan criterios que utilizan la suposición de la Ley de Snell.

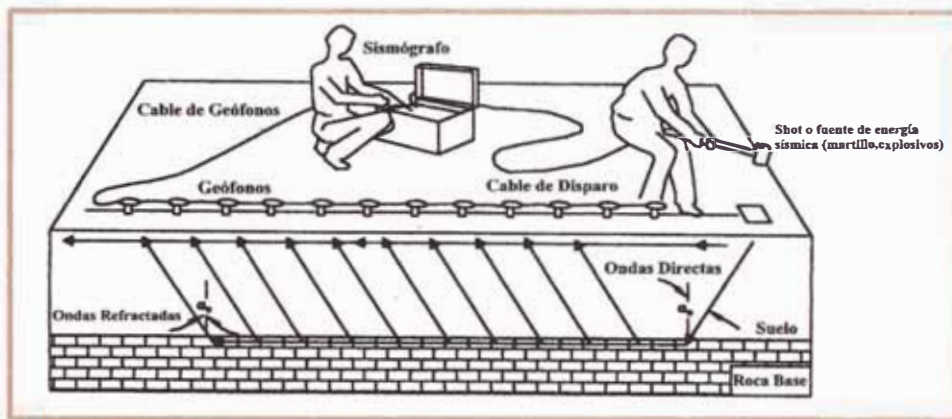


Figura 4.2. Disposición en el Campo Método Refracción Sísmica.

Fuente: ASTM-D5777.

Procesamiento

El procesamiento de las líneas sísmicas de refracción se realiza mediante Softwars PICWIN y PLOTREFA 2D V2.0 de GEOMETRICS con lo cual se obtienen los perfiles sísmicos velocidades y espesores de los horizontes elásticos existentes.

Valores Típicos de Ondas de Propagación

Existen tablas de diversos autores, que contienen velocidades de propagación de ondas, que pueden ser empleados para la fase de interpretación de resultados, aquellas tablas se presentan a continuación:

Tabla 4.2. Velocidades de Ondas P(Arce Helberg (1990))

Descripción	Vp (m/s)
Suelo de cobertura	< 1000
Roca muy alterada o aluvión compacta	1000 – 2000
Roca alterada o aluvión muy compacta	2000 – 4000
Roca poco alterada	4000 – 5000
Roca firme	> 5000

Tabla 4.3. Velocidades de Ondas P (ASTM D 5777 – 95)

Descripción	Vp (m/s)
Suelo intemperizado	204 – 610
Grava o arena seca	460 – 915
Arena saturada	1220 – 1830
Roca metamórfica	3050 - 7000

Tabla 4.4. Velocidades de Ondas P (Martínez Vargas A. (1990))

Descripción	Vp (m/s)
Arena suelta sobre el manto freático	245 – 610
Suelo blando	< 300
Arena suelta bajo el manto freático	45 – 1220
Arena y gravas	300 – 1000
Arena Suelta mezclada con grava húmeda	455 – 1065
Rocas blandas, grava y arena fina compacta	1000 – 2000
Grava suelta, húmeda	455 – 915
Roca compacta	2000 – 4000
Roca muy compacta	> 4000

Se realizaron un total de 14 líneas sísmicas (8 líneas sísmicas en la quebrada y 6 líneas sísmicas en los accesos). La longitud total de tendido de líneas sísmicas es de 2075m. En el Anexo plano de investigaciones, se presenta la ubicación. Los perfiles sísmicos son presentados en el Anexo A.4 Refracción Sísmica. Los resultados y la interpretación se presenta en las Tablas siguientes:

Tabla 4.5 Resultados e Interpretación de los Ensayo de Refracción Sísmica

Zona	Línea	Capa N°	Vp(m/s)	Espesor (m)	Interpretación
Entrda Túnel Margen Izquierda	LS 14	N°1	300 - 500	0.30 - 4.00	Depósito aluvial
		N°2	500 - 1000	0.40 - 2.50	Depósito aluvial, medianamente densa
		N°3	1000 - 2100	2.00 - 20.00	Depósito aluvial antiguo (bloques)
		N°4	2100 - 2700	3.00 - 4.00	Deposito aluvial muy denso
		N°5	> 2700		Roca poco fracturada
Entrda Túnel Margen Derecha	LS 01	N°1	500 - 700	0.30 - 4.00	Depósito aluvial
		N°2	700 - 1200	1.50 - 2.00	Depósito aluvial, medianamente densa
		N°3	1200 - 2000	2.00 - 15.00	Depósito aluvial antiguo (bloques)
		N°4	2000 - 3000	1.50 - 1.70	Depósito aluvial antiguo, muy densa
		N°5	3000 - 3600	1.50 - 1.80	Roca fracturada
		N°6	> 3600		Roca firme

Tabla 4.6. Resultados e Interpretación de Ensayo de Refracción Sísmica

Zona	Línea	Capa N°	Vp(m/s)	Espesor (m)	Interpretación
Acceso Margen izquierda	LS 02	N°1	300 - 700	3.00 - 7.50	Depósito aluvional
		N°2	700 - 1400	0.50- 17.00	Depósito aluvional, media densa
		N°3	1400 - 2000	6.00 - 10.50	Depósito aluvional antiguo, densa
		N°4	2000 - 3000	1.20 - 3.00	Roca fracturada y/o aluvión compacto
		N°5	3000 - 4000	0.80 - 3.00	Roca fracturada
		N°6	> 4000		Roca firme
	LS 03	N°1	300 - 1000	2.00 - 3.00	Depósito aluvional
		N°2	1000 - 1900	0.50 - 11.0	Depósito aluvional, media densa
		N°3	1900 - 2400	9.00 - 17.0	Roca muy fracturada
		N°4	> 2400		Roca fracturada
Acceso Margen Derecha	LS 04	N°1	300 -1000	4.50 - 7.50	Depósito aluvional
		N°2	1000 - 2000	1.0 - 27.0	roca muy fracturadas
		N°3	2000 - 3000	1.00 - 8.00	roca fracturada
		N°4	3000 - 4000	7.00 - 10.0	Roca firme
		N°5	> 4000		Roca muy firme

Tabla 4.7. Resultados e Interpretación de Ensayo de Refracción Sísmica

Zona	Línea	Capa N°	Vp(m/s)	Espesor (m)	Interpretación
Quebrada Yanago	LS 06	N°1	500 - 1000	7.00 - 10.00	Depósito aluvial
		N°2	1000 - 2000	2.50 - 3.00	Depósito aluvial antiguo (Bloques)
		N°3	2000 - 3000	3.00 - 3.50	Depósito aluvial antiguo muy densa
		N°4	3000 - 4500	6.00 - 7.00	Roca firme
		N°5	> 4500		Roca muy firme
	LS 07	N°1	800 - 1000	7.00 - 13.00	Depósito aluvial
		N°2	1000 - 2000	2.00 - 6.50	Depósito aluvial antiguo (Bloques)
		N°3	2000 - 3000	5.50 - 8.00	Depósito aluvial antiguo, muy densa
		N°4	3000 - 3500	2.00 - 7.50	Roca fracturada
		N°5	> 3500		Roca firme

Tabla 4.8. Resultados e Interpretación de Ensayo de Refracción Sísmica

Zona	Línea	Capa N°	Vp(m/s)	Espesor (m)	Interpretación
Quebrada Yanago	LS 08	N°1	1000 - 1300	1.00 - 13.0	Depósito aluvial
		N°2	1300 - 2000	0.50 - 4.50	Depósito aluvial antiguo (Bloques)
		N°3	2000 - 2800	3.00- 6.00	Depósito aluvial antiguo, muy densa
		N°4	2800 - 3200	1.00- 3.00	Roca fracturada
		N°5	> 3200		Roca firme
	LS 09	N°1	1000 - 1200	4.00 - 7.50	Depósito aluvial, medianamente densa
		N°2	1200 - 2000	1.00 - 2.50	Depósito aluvial antiguo (Bloques)
		N°3	2000 - 3000	2.50 - 4.50	Depósito aluvial muy densa
		N°4	3000 - 4000	0.50 - 2.00	Roca firme
		N°5	> 4000		Roca muy firme
	LS 10	N°1	1000 - 1300	1.50 - 24.0	Depósito aluvial
		N°2	1300 - 2000	1.00 - 5.50	Depósito aluvial antiguo (Bloques)
		N°3	2000 - 2800	3.00 - 8.00	Depósito aluvial antiguo, muy densa
		N°4	2800 - 3200	1.00 - 4.50	Roca fracturada
		N°5	> 3200		Roca firme

Tabla 4.9. Resultados e Interpretación de Ensayo de Refracción Sísmica

Zona	Línea	Capa N°	Vp(m/s)	Espesor (m)	Interpretación
Quebrada Yanango	LS 11	N°1	800 - 1000	0.50 - 15.00	Depósito aluvial
		N°2	1000 - 1400	1.00 - 3.00	Depósito aluvial
		N°3	1400 - 2000	1.00 - 5.00	Depósito aluvial antiguo (Bloques)
		N°4	2000 - 2400	0.50 - 2.50	Depósito aluvial antiguo muy densa
		N°5	> 2400		Depósito aluvial antiguo muy densa
	LS 12	N°1	600 - 1000	2.0 - 4.0	Depósito aluvial
		N°2	1000 - 2000	1.20 - 1.70	Depósito aluvial antiguo (Bloques)
		N°3	2000 - 3000	3.00 - 14.00	Depósito aluvial antiguo muy densa
		N°4	3000 - 3500	2.00 - 2.50	Roca fracturada
		N°5	> 3500	-	Roca firme
	LS 13	N°1	700 - 1000	3.50 - 7.50	Depósito aluvial
		N°2	1000 - 1400	1.50 - 1.80	Depósito aluvial
		N°3	1400 - 2000	1.50 - 2.50	Depósito aluvial antiguo (Bloques)
		N°4	2000 - 2700	0.80 - 1.80	Depósito aluvial antiguo muy densa
		N°5	> 2700	-	Roca fracturada

4.3 SONDEOS

Los sondeos mecánicos constituyen el apartado económicamente más costoso de una investigación, proporciona una información muy valiosa. En general, la perforación empleada es el sistema Wireline empleando batería sencilla, doble e inclusive triple en función al tipo de terreno para la toma de muestras.

Los sondeos deben ser supervisados por un geólogo - geotécnico que:

- Testifique el sondeo e inclinación del mismo
- Dirija la toma de muestras
- Supervise los ensayos in situ
- Controle los parámetros de perforación de relevancia geotécnica
- Realice ensayos in situ sobre el testigo (ensayos de carga puntual, tilt-test , vane-test, penetrometría o esclerometría).

Para la descripción del testigo se deben emplear las normas de la ISRM.

Los objetivos mínimos que deben cumplir son:

- Recuperar muestras continuas de roca.
- Identificar el perfil lito estratigráfico del subsuelo.
- Identificar fallas y zonas cizalladas.
- Determinar el grado de fracturamiento y meteorización del macizo rocoso.
- Evaluar las condiciones de las discontinuidades que disturban al macizo rocoso.
- Obtener muestras para ensayos de laboratorio.
- Ejecutar ensayos de permeabilidad.

En el túnel yanago se realizaron 10 perforaciones diamantinas. los diámetros de broca empleados son HQ y NQ. Se dispusieron de la siguiente manera : El sondeo P-1 en el portal de salida del Túnel, los sondeos P-2, P-3, P-4, P-5, P-6 se encuentra distribuidos en la Qda Yanango, los sondeos P-8, P-9 y P-10 se encuentra al lado izquierdo del túnel Proyectoado y el sondeo P-7 se ubica en el portal de entrada. En el Anexo H Plano PGT-06, se presenta la ubicación de los sondeos. Las coordenadas y profundidades de los sondeos se indican en el Tabla siguiente:

Tabla 4.10. Sondeos Ejecutados en los Portales de Entrada.

Sondeo	Coordenadas		Cotas (msnm)	Profundidad (m)	Inclinación (°)
	Norte	Este			
P-1	8761272	447203	1620	300.60	90
P-2	8760775	447071	1705	60	75
P-3	8760726	447024	1693	60.1	90
P-4	8760710	447001	1696	60	75
P-5	8760689	447059	1702	58.5	90
P-6	8760731	447005	1691	70.5	90
P-7	8760671	446710	1674	44.70	4
P-8	8760703	446752	1675	83.20	12
P-9	8760728	446785	1676	100.7	12
P-10	8760714	446994	1696	85	40

4.4 ENSAYOS GEOTECNICOS IN SITU

Existe una elevada tendencia a realizar ensayos in situ, fundamentalmente por dos claras razones:

- Dificultad de obtención de muestras inalteradas
- Efecto escala claramente evidenciado en macizos rocosos convencionales (parámetros de resistencia, deformaciones, discontinuidades y estado tensional).

Los ensayos in situ se refieren a dos tipos:

- Ensayos realizados in situ sobre muestras de testigos
- Ensayos realizados en el sondeo (presio-dilatometría, permeabilidad, fracturación hidráulica).
- En el siguiente Tabla se presenta las principales características de los ensayos in situ:

Tabla 4.11. Principales Características de los Ensayos In situ.

ENSAYO	REALIZACIÓN	PARÁMETRO OBTENIDO	COSTE
Carga puntual	Testigo	Índice de carga puntual	---
Tilt-test	Testigo (bloque)	Ángulo básico de fricción	---
Vane-test	Testigo	Resistencia al corte	---
Penetrómetro	Testigo	Resistencia al corte	---
Esclerometría	Testigo	IR (σ_c); JCS	---
Permeabilidad	Sondeo	Permeabilidad	Bajo
Presiometría	Sondeo	Módulo de corte, G (E)	Medio
Dilatometría	Sondeo	Módulo de corte, G (E)	Medio
Hidrofracturación	Sondeo	Estado tensional natural	Alto

Fuente: Geocontrol S.A.

4.4.1 Ensayos de Permeabilidad

En las perforaciones diamantinas se ejecutaron ensayos de permeabilidad de tipo Lugeon y Lefranc. Los ensayos de absorción de agua a presión tipo Lugeon consisten en infiltrar agua en el macizo rocoso a un caudal constante y a presión constante, en un tramo de perforación previamente aislado con obturadores y durante un período de 5 a 10 minutos. El ensayo generalmente consta de dos etapas con cinco fases de presión; en la primera etapa las presiones se incrementan gradualmente hasta un nivel máximo y luego en la segunda etapa, se reducen hasta el valor mínimo inicial. Cada ensayo permite obtener cinco resultados y el valor representativo de la unidad Lugeon fue determinado empleando el criterio de Houlsby (1976).

Tabla 4.12. Resumen de Ensayos tipo Lugeon.

Sondeo	Ensayos	Profundidad (m)	UL	Sondeo	Ensayos	Profundidad (m)	UL
P-01	1	11.70 – 15.70	49.72		1	27.35 – 30.35	62.08
	2	31.60 - 35.60	5.73	P-02	2	47.50 – 50.50	19.54
	3	50.75 – 54.75	44.37		3	55.70 – 59.70	20.21
	4	71.45 – 75.45	46.09	P-03	1	44.75 – 47.75	38.95
	5	91.40 – 95.40	46.85		2	56.10 – 59.10	48.24
	6	112.20 – 116.20	48.19	P-04	1	21.40 – 24.40	31.06
	7	131.70 – 135.70	49.53		2	32.00 – 36.00	27.28
	8	152.10 – 156.10	49.15		3	43.30 - 46.30	28.03
	9	172.90 – 176.90	50.87		4	55.30 – 59.30	34.71
	10	192.20 – 196.20	51.83	P-08	1	79.20 – 83.20	17.65
	11	212.20 – 216.20	50.68	P-09	1	96.70 – 100.70	17.3
	12	232.50 – 236.50	53.36	P-10	1	61.40 – 65.40	35.84
	13	252.55 – 256.55	54.5	-	-	-	-
	14	272.05 – 276.05	53.55	-	-	-	-
	15	292.45 – 296.45	55.84	-	-	-	-

Según los coeficientes de permeabilidad Lugeon, el macizo rocoso es heterogéneo; donde se tienen zonas con rocas prácticamente impermeables y zonas con rocas de permeabilidad media, esto debido a la presencia de tramos fracturados.

El ensayo de Lefranc se utiliza para medir el coeficiente de permeabilidad en suelos permeables o semipermeables, de tipo granular, situados por debajo del nivel freático, y en rocas muy fracturadas. El ensayo se efectúa en el interior de sondeos y puede realizarse durante la ejecución de la perforación o una vez ya este finalizada. Este consiste en rellenar de agua el sondeo y medir el caudal necesario para mantener el nivel constante o bien medir la velocidad de descenso del nivel de agua, la medida del caudal de agua debe medirse cada 5 min, manteniendo el nivel constante en la boca del sondeo durante 45 min.; si la admisión es muy alta se debe medir cada minuto durante los primeros 20 y después cada 5 min., hasta llegar a los 45min.

Tabla 4.13. Resumen de Ensayos tipo Lefranc.

Sondeos	Ensayos	Profundidad (m)	Permeabilidad (k)(cm/s)
P-02	E-01	5.25	1.00E-02
	E-02	9.30	5.67E-03
P-03	E-01	5.20	1.77E-02
	E-02	10.30	1.28E-02
	E-03	17.90	8.95E-03
	E-04	22.40	1.28E-02
	E-05	29.90	9.56E-03
P-04	E-01	7.10	8.79E-03
	E-02	10.40	5.00E-03
	E-03	14.70	8.72E-03

CAPÍTULO V: ENSAYOS DE LABORATORIO

Los ensayos de laboratorio se realizan acorde con el material existente y los objetivos específicos trazados. En el siguiente Tabla se presentan los ensayos de laboratorio que deben realizarse, con el propósito de caracterizar las diversas propiedades de la roca y/o suelo de manera adecuada:

Tabla 5.1. Principales Ensayos de Laboratorio en Roca

Tipo de Ensayo	Ensayo	Normativa	Parámetro Obtenido	Realizados en Túnel Yanango
Identificación	Análisis Petro Minerográfico	ISRM	Características mineralógicas de la	✓
Propiedades Físicas	Densidad	ASTM D2937	Peso por unidad de volumen	✓
	Absorción Gravedad específica	ASTM 2216-02	% de adsorción y porosidad.	✓
Mecánicos	Compresión Simple	ASTM D2938	Resistencia a la compresión	✓
	Compresión Triaxial	ASTM 2664-95	Resistencia, m_i , ángulo de fricción interno y	✓
	Carga Puntual	ASTM D5731	Is50, Resistencia a la compresión simple	✓
	Corte Directo	ASTM D5607-95	Ángulo de fricción interno y Cohesión.	✓
Propiedades Elásticas	Propiedades elásticas	ASTM D3148	Módulo de Young, Poisson	✓
Otros Ensayos	Schimazeck Índice Cechar	ASTM D7625	Abrasividad de la roca	x

Fuente : Elaboración propia

Tabla 5.2. Principales Ensayos de Laboratorio en Suelo

Ensayos	Norma ASMT	Ensayos	Norma ASMT
Análisis granulométrico por tamizado	D422	Permeabilidad en suelos granulares (carga constante)	D2434
Análisis granulométrico por sedimentación	D422	Valor relativo de soporte CBR (incluye proctor)	D1883
Límite líquido	D4318	Valor relativo de soporte CBR (en muestras inalteradas)	D1883
Límite plástico	D4318	Próctor estándar	D698
Límite de contracción	D427	Próctor modificado	D1557
Peso volumétrico de suelos cohesivos	BS 1377	Contenido de humedad con Speedy	D4944
Gravedad específica de sólidos	D854	Compresión no confinada	D2166
Densidad natural, cono de arena 6" (Incluye 5 puntos) (1)	D1556	Corte Directo	D3080
Densidad natural, cono de arena 12" (incluye 3 puntos) (2)	D1556	Consolidación unidimensional	D2435
Densidad mínima	D4254	Expansión libre	D4546
Densidad máxima (método seco)	D4253	Contenido de materia orgánica	D2974
Densidad máxima (método húmedo)	D4253	Servicios Varios	---

Fuente : Elaboración propia

En los siguientes ítems se desarrollan los ensayos realizados para el túnel Yanango.

5.1 ANÁLISIS PETRO-MINERAGRÁFICO

El análisis Petro-mineralógico nos da la denominación del tipo de roca y confirmación de lo evaluado en campo y de la información revisada. Para el túnel Yanango se analizaron 08 muestras de roca. Las rocas fueron clasificadas como Granodiorita, Gneis y Esquisto. Los resultados se muestran en el siguiente Tabla:

Tabla 5.3. Resultados del Análisis Petro-mineragráfico.

Código de Muestra	Roca	Código de Muestra	Denominación
Túnel Yanango M-3	Granodiorita	Túnel Yanango M – 3	Gneis
Túnel Yanango M-4	Granodiorita	Túnel Yanango A – 1	Gneis
Túnel Yanango M – 1	Gneis	Túnel Yanango A – 2	Micaesquistos
Túnel Yanango M – 2	Esquistos	Túnel Yanango A – 3	Gneis

Fuente : “Estudio Definitivo para la Construcción del Túnel Yanango y Accesos”.

5.2 ENSAYOS DE MECÁNICA DE ROCAS.

5.2.1 Propiedades Físicas

Para determinar las propiedades físicas de las rocas: porosidad aparente, densidad natural y absorción, se se realizan ensayos en el laboratorio siguiendo los métodos sugeridos por la ISRM (1979). Los resultados de los ensayos realizados en muestras extraídas son presentadas en el siguiente Tabla:

Tabla 5.4. Resultados de Propiedades Físicas

Perforación/ Muestra	Profundidad (m)	Densidad Seca (gr/cm ³)	Densidad Húmeda (gr/cm ³)	Porosidad Aparente (%)	Absorción (%)	Peso Específico Aparente (KN/m ³)
P-02/ M-5	42.25 - 42.58	2.66	2.67	0.69	0.26	26.10
P-03/ M-4	42.45 - 42.75	2.88	2.89	0.37	0.13	28.25
P-04/ M-2	38.70 - 39.18	2.91	2.92	0.36	0.12	28.54

Fuente : “Estudio Definitivo para la Construcción del Túnel Yanango y Accesos”.

5.2.2 Resistencia a la Compresión Simple

Debe cumplir el objetivo de determinar la resistencia máxima a la compresión sin confinamiento lateral en una muestra cilíndrica de roca. Los resultados obtenidos para el proyecto son presentados en el siguiente Tabla:

Tabla 5.5. Ensayos de Compresión Simple Muestras de Perforación.

Perforación Muestra	Profundidad (m)	Resistencia a la Compresión Simple (Kg/cm ²)	Resistencia a la Compresión Simple (MPa)
P-01 M-1	20.00 - 21.80	1154.41	113.13
P-01 M-3	217.28 - 217.80	1386.64	135.79
P-02 M-6	51.30 - 51.63	863.89	84.66
P-02 M-7	56.90 - 57.15	874.87	85.74
P-03 M-4	42.45 - 42.75	984.05	96.44
P-03 M-5	44.90 - 45.34	1288.79	126.30
P-04 M-4	51.55 - 51.97	631.15	61.85
P-08 M-2	82.00 - 82.70	1650.25	161.72

Fuente : "Estudio Definitivo para la Construcción del Túnel Yanango y Accesos".

Tabla 5.6. Ensayos de Compresión Simple Muestra Superficial.

Muestra	Coordenadas UTM	Resistencia a la Compresión Simple (Kg/cm ²)	Resistencia a la Compresión Simple (MPa)
A-1	446737/8760957	1002.86	98.35
A-2	446740/8760996	610.08	59.83
A-3	446190/8760418	409.50	40.16

Fuente : "Estudio Definitivo para la Construcción del Túnel Yanango y Accesos".

5.2.3 Ensayo de Carga Puntual (Point Load Test)

Otra manera de determinar la resistencia de la matriz rocosa es mediante el ensayo de carga puntual determinando el Índice $I_s(50)$ en testigos de roca que requieren de poca preparación y que pueden tener formas regulares o irregulares. Para estimar la resistencia a la compresión simple a partir del índice $I_s(50)$ se utiliza la siguiente ecuación:

$$\sigma_{cp} = FI_{s(50)}$$

Donde:

$I_s(50)$ = Índice de carga puntual corregido por un diámetro de muestra de 50 mm (en MPa).

σ_{cp} = Resistencia a la compresión simple estimada a partir del $I_s(50)$ (en MPa).

F = Factor de conversión.

Para el proyecto Yanango los ensayos fueron axiales, es decir la carga fue aplicada siguiendo el eje del núcleo. Los índices ($I_s(50)$) promedios de los resultados de los ensayos y la resistencia a la compresión estimada se muestra en el siguiente Tabla:

Tabla 5.7. Ensayos de Carga Puntual.

Perforación Muestra	Profundidad (m)	$I_s(50)$ (Kg/cm ²)	Resistencia a la Compresión Simple (MPa)
P-01 M-4	245.70 - 246.28	88.41	208.07
P-02 M-1	5.75 - 6.05	62.26	146.44
P-02 M-2	15.50 - 15.80	62.41	146.80
P-02 M-3	27.35 - 27.75	59.58	140.12
P-03 M-2	35.05 - 35.39	66.85	157.23
P-03 M-1	33.90 - 34.12	40.11	94.34
P-04 M-1	35.00 - 35.25	66.63	156.71
P-09 M-4	90.70 - 91.35	89.33	210.28

Fuente : "Estudio Definitivo para la Construcción del Túnel Yanango y Accesos".

5.2.4 Resistencia a la Compresión Triaxial

A partir del ensayo de compresión triaxial se determina el ángulo de fricción interna y cohesión de la roca intacta, en el caso del Criterio de Falla de Mohr-Coulomb, y los parámetros m_i y resistencia a la compresión simple de la roca intacta en el caso del Criterio de Falla de Hoek-Brown.

Estimando el esfuerzo vertical que soportará el techo y el piso del túnel, para la densidad de la roca y la profundidad correspondiente, se emplearon esfuerzos confinantes (σ_3) desde 1 hasta 7 MPa y poder simular las relaciones que se pudieran presentar entre los esfuerzos horizontales y verticales en el terreno, los valores obtenidos se incluyen en el Tabla siguiente:

Tabla 5.8. Ensayos de Compresión Triaxial Muestras de Peforación

Perforación Muestra	Tramo	Resistencia (MPa)	mi	Angulo de Fricción Interno (°)	Cohesión (MPa)
P-01 M-6	297.20 - 297.90	151.1	28.49	56.22	16.17
P-10 M-6	80.05 - 80.55	119.2	23.75	53.17	13.74

Fuente : “Estudio Definitivo para la Construcción del Tunel Yanango y Accesos”.

5.2.5 Propiedades Elásticas

Las propiedades elásticas de la roca intacta determinadas en el laboratorio son: módulo de elasticidad o de Young (E) y relación de Poisson (μ); estos a través de las curvas de esfuerzo-deformación registradas en un ensayo de compresión simple (σ_{ed}) de un testigo de roca de geometría regular (asumiendo un comportamiento elástico). Los resultados de las propiedades elásticas obtenidas en los ensayos se muestran en el Tabla siguiente:

Tabla 5.9. Propiedades Elásticas de la Matriz Rocosa.

Perforación Muestra	Profundidad (m)	Módulo Young (GPa)	Poisson (ν)
P-01 M-5	266.30 - 266.89	9.54	0.30
P-02 M-6	51.30 - 51.63	8.53	0.31
P-02 M-7	56.90 - 57.15	9.40	0.30
P-03 M-5	44.90 - 45.34	11.44	0.29
P-03 M-6	50.22 - 55.00	6.07	0.32
P-04 M-3	44.10 - 44.44	7.34	0.31
P-10 M-5	72 - 73.05	14.29	0.28
Muestra	Coordenadas UTM	Módulo Young (GPa)	Poisson (ν)
A-1	446737/8760957	103.17	0.21
A-2	446740/8760996	126.11	0.25
A-3	446190/8760418	81.96	0.29

Fuente : “Estudio Definitivo para la Construcción del Tunel Yanango y Accesos”.

5.2.6 Ensayo de Corte Directo

El ensayo de corte directo tiene como finalidad encontrar la resistencia de un plano de discontinuidad presente en una muestra de roca intacta. El ensayo se realizó sobre discontinuidades naturales, siguiendo el procedimiento recomendado en la norma ASTM D5607-95 y cuyos resultados de los ensayos se presentan en el Tabla siguiente y sus planillas están en el Anexo B.2.

Tabla 5.10. Parámetros de Resistencia de la Matriz Rocosa.

Perforación Muestra	Profundidad (m)	Tipo de Discontinuidad	Ángulo de Fricción (°)	Cohesión (MPa)
P-01 M-2	80.25 - 80.85	Simulada	26.15	0.137
P-02 M-8	59.30 - 59.65	Simulada	28.08	0.138
P-03 M-7	56.70 - 57.25	Simulada	27.11	0.115
P-04 M-5	56.15 - 56.00	Simulada	28.01	0.112
P-08 M-1	63.80 - 64.38	Simulada	27.51	0.130
P-09 M-3	80.90 - 81.45	Simulada	27.31	0.128

Fuente : “Estudio Definitivo para la Construcción del Tunel Yanango y Accesos”.

5.3 ENSAYOS DE MECANICA DE SUELO

Los ensayos ejecutados para el proyecto fueron: análisis granulométrico por tamizado, límites de Atterberg (líquido y plástico) y contenido de humedad y ensayo triaxial los cuales fueron realizados siguiendo los procedimientos del ASTM.

- Análisis granulométrico por tamizado (ASTM D-422)
- Ensayo de compresión Triaxial (ASTM D4767)

Los resultados de los ensayos estandar se muestran en el siguiente Tabla:

Tabla 5.11 Clasificación Geotécnica de Suelo.

Calicata/ Trinchera	Muestra	Análisis Granulométrico			Límites de Consistencia			Clasificación S.U.C.S
		Gravas (%)	Arenas (%)	Finos (%)	LL (%)	LP (%)	IP	
T-01	M-1	52.9	36.1	11.0	18.3	NP	NP	GW - GM
T-02	M-2	52.9	36.1	11.0	18.25	NP	NP	GW - GM

Fuente : "Estudio Definitivo para la Construcción del Tunel Yanango y Accesos".

Para determinar la resistencia del estado compactado se ejecutaron ensayos triaxiales del tipo CU (Consolidados no drenados). Los ensayos triaxiales se realizaron considerando diferentes densidades secas y humedades. Los resultados de dichos ensayos se se presentan en el Tabla 5.12.

Tabla 5.12. Parámetros de Resistencia del Suelo.

Muestra	SUCS	γ_s (gr/cm ³)	w %	Triaxial CU			
				c (kg/cm ²)	ϕ (°)	c' (kg/cm ²)	ϕ' (°)
M-1	GW-GM	1.70	7.7	1.00	33.40	17.9	34.00
M-2	SM	2.09	7.6	1.00	33.08	17.9	34.00
M-3	SP-SM	1.81	1.9	0.1	44.42	0	45.94
M-1'	SW	1.76	8.0	0.2	23	0	36.1

Donde: γ_s = densidad seca, w = humedad inicial en el ensayo, c = cohesión en esfuerzos totales, c' = cohesión en esfuerzo efectivos,
 ϕ = ángulo de fricción interna en esfuerzos totales, ϕ' = ángulo de fricción interna en esfuerzos efectivos.

Fuente : "Estudio Definitivo para la Construcción del Tunel Yanango y Accesos".

CAPÍTULO VI: EVALUACIÓN GEOMECÁNICA

La caracterización geomecánica tiene por finalidad determinar la calidad y clasificación del macizo rocoso. Además permite zonificar el macizo rocoso en dominios estructurales, caracterizándolos por su homogeneidad estructural y geomecánica.

6.1 PROPIEDADES DE LA ROCA INTACTA

Las muestras de roca representativas obtenidas en el sub-suelo, fueron sometidas ensayos para determinar las propiedades físicas, elásticas y de resistencia.

6.1.1 Parámetros Geotécnicos de la Roca Intacta

En el Tabla 6.1 se resumen los valores de los parámetros de resistencia y elasticidad de la matriz rocosa.

Tabla 6.1. Parámetros de Resistencia y Elasticidad de la Roca Intacta

Perforación Muestra	Peso Unitario KN/m ³	mi	Ángulo de Fricción (φ)	Cohesión (MPa)	Compresión Simple (MPa)	Modulo de Young (Gpa)	Relación de Poisson
P-01 M-1					113.13		
P-01 M-2			26.15	0.137			
P-01 M-4					208.07		
P-01 M-5						9.54	0.30
P-01 M-6		28.49	56.22	16.17			0.31
P-01 M-3					135.79		
P-02 M-6					84.66	8.53	0.31
P-02 M-5	26.10						
P-02 M-7					85.74	9.40	0.30
P-02 M-8			28.08	0.138			
P-03 M-4	28.25				96.44		

Fuente : "Estudio Definitivo para la Construcción del Túnel Yanango y Accesos".

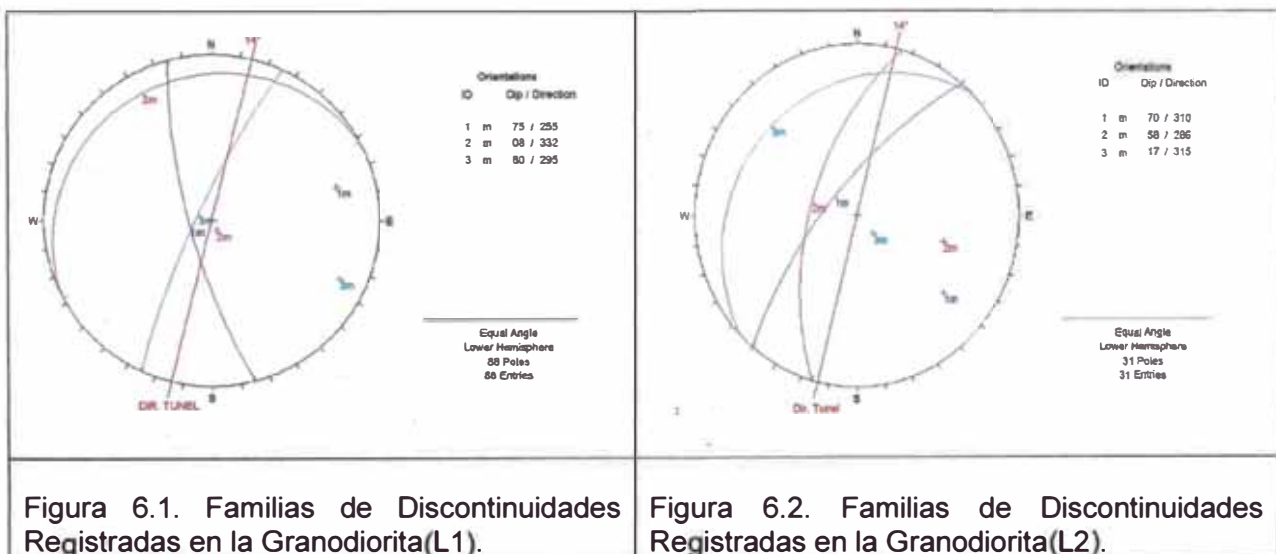
Tabla 6.2. Parámetros de Resistencia y Elasticidad de la Roca Intacta

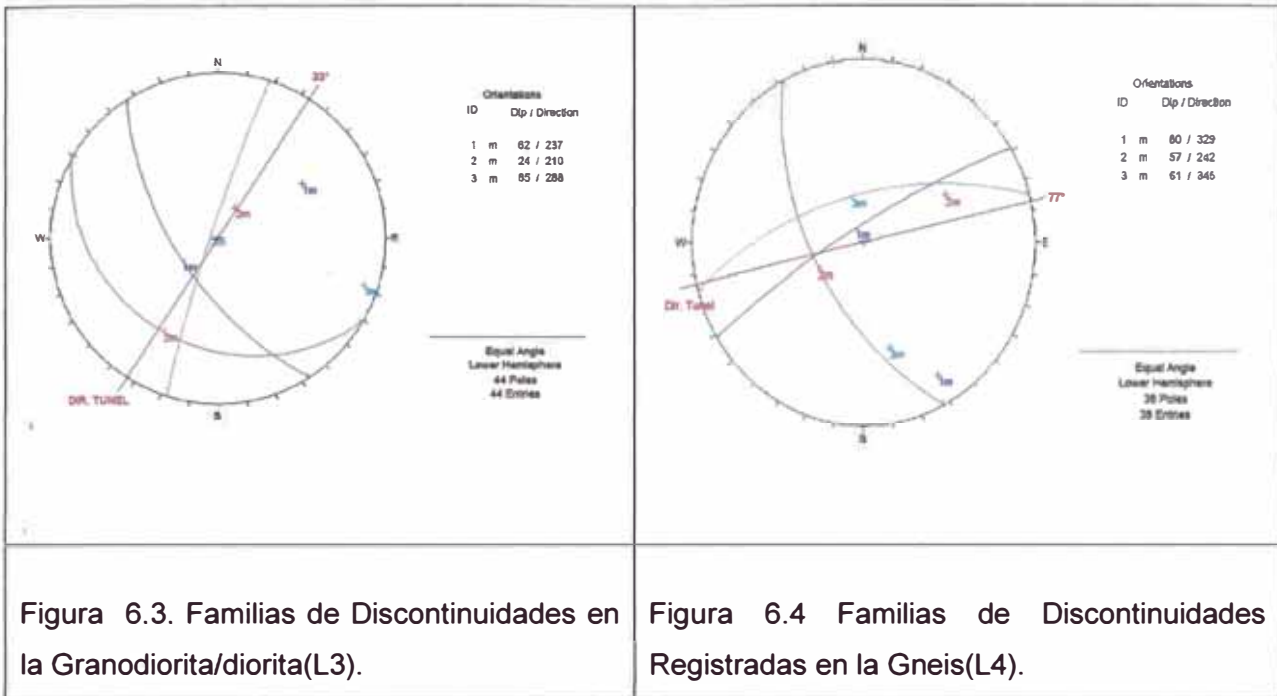
Perforación Muestra	Peso Unitario KN/m ³	mi	Ángulo de Fricción (φ)	Cohesión (MPa)	Compresión Simple (MPa)	Modulo de Young (Gpa)	Relación de Poisson
P-03 M-5					126.30	11.44	0.29
P-03 M-6						6.07	0.32
P-04 M-2	28.54						
P-04 M-3						7.34	0.31
P-04 M-4					61.85		
P-04 M-5			28.01	0.112			
P-08 M-1			27.51	0.130			
P-08 M-2					161.72		
P-09 M-3			27.31	0.128			
P-04 M-2	28.54						
P-10 M-5						14.29	0.28
P-10 M-6		23.75	53.17	13.74			

Fuente : "Estudio Definitivo para la Construcción del Tunel Yanango y Accesos".

6.2 CARACTERÍSTICAS DE LAS DISCONTINUIDADES

Para caracterizar las discontinuidades se realiza un levantamiento de los afloramientos de roca y se toman medidas de sus orientaciones, de forma lineal y puntual, para luego ser analizadas con la proyección estereográfica y con ayuda del software DIPS v.5. La base de datos se encuentra en el anexo A.2.





Fuente : “Estudio Definitivo para la Construcción del Túnel Yanango y Accesos”.

6.3 RESISTENCIA DE LAS DISCONTINUIDADES

El túnel proyectado se estima que tendrá una cobertura de 10 a 120 m, es decir estará en un medio donde el macizo rocoso puede variar de fracturado a masivo. En un medio fracturado, la estabilidad de las excavaciones subterráneas está normalmente controlada por la resistencia que existe a lo largo de la superficie de las discontinuidades, sobre todo cuando éstas pueden desarrollar cuñas u otras superficies de deslizamiento.

La resistencia a lo largo de las discontinuidades se analizó en base al método propuesto por Barton (1973), que tiene en consideración la rugosidad de la discontinuidad JRC, resistencia de la pared de la discontinuidad JCS y el ángulo de fricción básico o residual ϕ_b . El ángulo de fricción básico ϕ_b fue estimado con el ensayo tilttest en 29° y los parámetros JRC y JCS se ha estimado a partir del ensayo de corte directo de la junta.

En la Figura 6.5 y en el Figura 6.6 se indican los valores de resistencia al esfuerzo cortante de la discontinuidad escalada a la condición natural, considerado para cada uno de los parámetros antes mencionados.

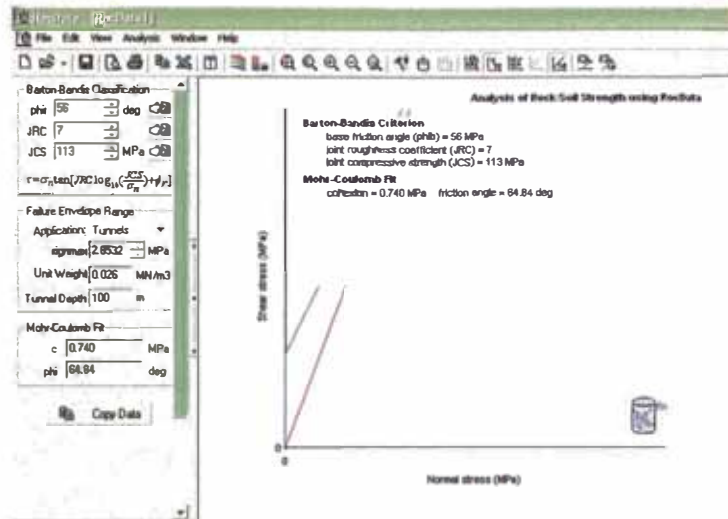


Figura 6.5. Resistencia de la Discontinuidad de la Granodiorita P 01.

Fuente : “Estudio Definitivo para la Construcción del Tunnel Yanango y Accesos”.

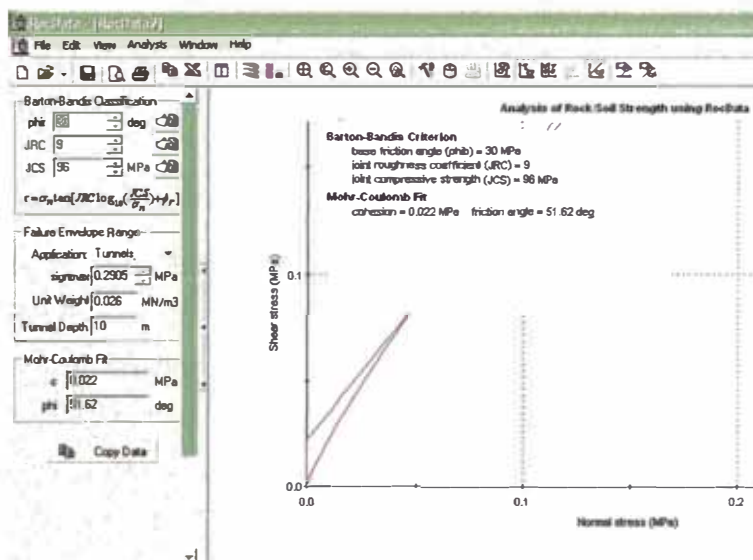


Figura 6.6. Resistencia de la Discontinuidad de la Granodiorita P 03.

Fuente : “Estudio Definitivo para la Construcción del Tunnel Yanango y Accesos”.

Tabla 6.3. Propiedades de Resistencia de las Discontinuidades.

Litología	Ángulo de Fricción Básico (ϕ_b)	JRC	JCS (MPa)	Cohesión (MPa)	Angulo de fricción ($^\circ$)
Granodiorita P1	56	7	113	0.740	64.84
Granodiorita P3	30	9	96	0.022	51.62

Fuente : “Estudio Definitivo para la Construcción del Tunnel Yanango y Accesos”.

6.4 EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL MACIZO ROCOSO

Para la evaluación de la calidad del macizo rocoso se utiliza los resultados de las investigaciones geotécnicas efectuadas, tanto en superficie como en el subsuelo y los parámetros de la roca intacta.

6.4.1 Clasificación Geomecánica del Macizo Rocosó

Para evaluar las condiciones geológicas y geotécnicas del medio donde será excavados los túneles se utiliza los principales sistemas de clasificación geomecánica de macizos rocosos: RMR (Bieniawski, 1989), Q (Barton, 1974), RMI (Palmstron, 1995) y GSI (Hoek, 1995) y Cai y otros, 2005). En la evaluación geomecánica del macizo rocoso se utiliza las características de las discontinuidades tomadas en los afloramientos de forma lineal y puntual, también de los testigos de perforación y los resultados de los ensayos de mecánica de rocas.

6.4.2 Evaluación Geomecánica de Bieniawski RMR

El sistema de clasificación Rock Mass Rating o sistema RMR fue desarrollado por Z.T. Bieniawski (2) durante los años 1972- 1973, y ha sido modificado en 1976 y 1979, en base a más de 300 casos reales de túneles, cavernas, taludes y cimentaciones. Actualmente se usa la edición de 1989, que coincide sustancialmente con la de 1979. Para determinar el índice RMR de calidad de la roca se hace uso de los seis parámetros del terreno siguientes: La resistencia a compresión simple del material El RQD (Rock Quality Designation), el espaciamiento de las discontinuidades, el estado de las discontinuidades, la presencia de agua y la orientación de las discontinuidades. El RMR se obtiene como suma de unas puntuaciones que corresponden a los valores de cada uno de los seis parámetros enumerados. El valor del RMR oscila entre 0 y 100, y es mayor cuanto mejor es la calidad de la roca. Bieniawski distingue cinco tipos o clases de roca según el valor del RMR: CLASE I: $RMR > 80$, Roca muy buena. CLASE II: $80 < RMR < 60$, Roca buena. CLASE III: $60 < RMR < 40$, Roca media. CLASE IV: $40 < RMR < 30$, Roca mala. CLASE V: $20 < RMR$, Roca muy mala.

Tabla 6.4. Valoración de RMR de Estaciones Geomecánicas Puntuales.

Estación Geomecánica	Valoración de la Masa Rocosa		Estación Geomecánica	Valoración de la Masa Rocosa	
	RMR	RMR _{89'}		RMR	RMR _{89'}
E 1	57	59	E 10	51	58
E 2	56	58	E 11	58	60
E 3	56	58	E 12	49	59
E 4	58	60	E 13	55	62
E 5	61	63	E 14	52	59
E 6	63	65	E 15	53	63
E 7	61	63	E 16	52	62
E 8	62	64	E 17	58	65
E 9	53	60	-	-	-

Fuente : "Estudio Definitivo para la Construcción del Túnel Yanango y Accesos".

Tabla 6.5. Valoración de RMR Línea de Detalle.

Line de Detalle/ Perforación	Ubicación	Valoración de la Masa Rocosa	
		RMR	RMR _{89'}
L 1	Salida del Túnel	43	63
L 2	Túnel	49	59
L 3	Quebrada	40	53
L 4	Ingreso del Túnel	46	56
P 01	3.70 - 7.30	36	46
	7.30 - 249.80	41	61
	248.80 - 264.80	49	59
	264.80 - 300.00	51	61
P 02	47.30 - 57.30	45	55
P 03	37.50 - 47.50	40	56
P 04	38.35 - 48.35	51	58
P 07	0.00 - 44.70	47	57
P 08	63.00 - 83.00	50	55
P 09	81.65 - 100.00	51	56
P 10	77.50 - 85.90	47	52

Fuente : "Estudio Definitivo para la Construcción del Túnel Yanango y Accesos".

6.4.3 Clasificación de Barton (Índice Q)

El sistema Q propuesto por Barton et al. (1974) considera los índices de designación de la calidad de la roca, RQD (Rock Quality Designation); índice de influencia del número de familias de las discontinuidades, J_n ; índice de influencia de la rugosidad de las paredes de las discontinuidades, J_r ; índice de influencia de la alteración de las paredes de las discontinuidades, J_a , índice de influencia de la acción del agua subterránea, J_w , e índice de influencia del estado de tensiones en el macizo en el contorno de la cavidad, SRF (Stress Reduction Factor). El valor del índice Q tiene la siguiente expresión:

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

El valor numérico de Q varía de 0,001 a 1000. Este índice considera tres características principales del macizo rocoso: el tamaño de los bloques (RQD/ J_n), resistencia al corte entre bloques (J_r / J_a) y acción de la tensión (J_w / SRF). En el Anexo D.3 se presenta la clasificación geomecánica por Q de Barton. En la tabla siguiente se muestra la valoración del índice Q.

Tabla 6.6. Valoración del Índice Q.

Ubicación	Litología	Q Barton
77+770 – 77+544	Granodiorita Diodita	6
77+544 – 77+494	Granodiorita Gneis	5.3
77+494 – 77+290	Granodiorita Diorita	2.6
77+290 – 77+203	Granodiorita	2.8
77+203 – 77+164	Granodiorita	5.8
77+164 – 76+950	Granodiorita Gneis	7.1
76+950 – 76+910	Gneis	2.3

Fuente : “Estudio Definitivo para la Construcción del Tunel Yanango y Accesos”.

6.4.4 Índice de Resistencia Geológica GSI

Hoek (1994) desarrollo la clasificación de macizo rocoso denominado GSI para evaluar la resistencia y modulo de deformación del macizo rocoso, según el criterio generalizado de falla Hoek-Brown. El sistema GSI se basa en la descripción de dos factores: la estructura del macizo rocoso que esta expresada por el grado de fracturamiento y las características intrínsecas de las discontinuidades como se presenta en la siguiente figura:

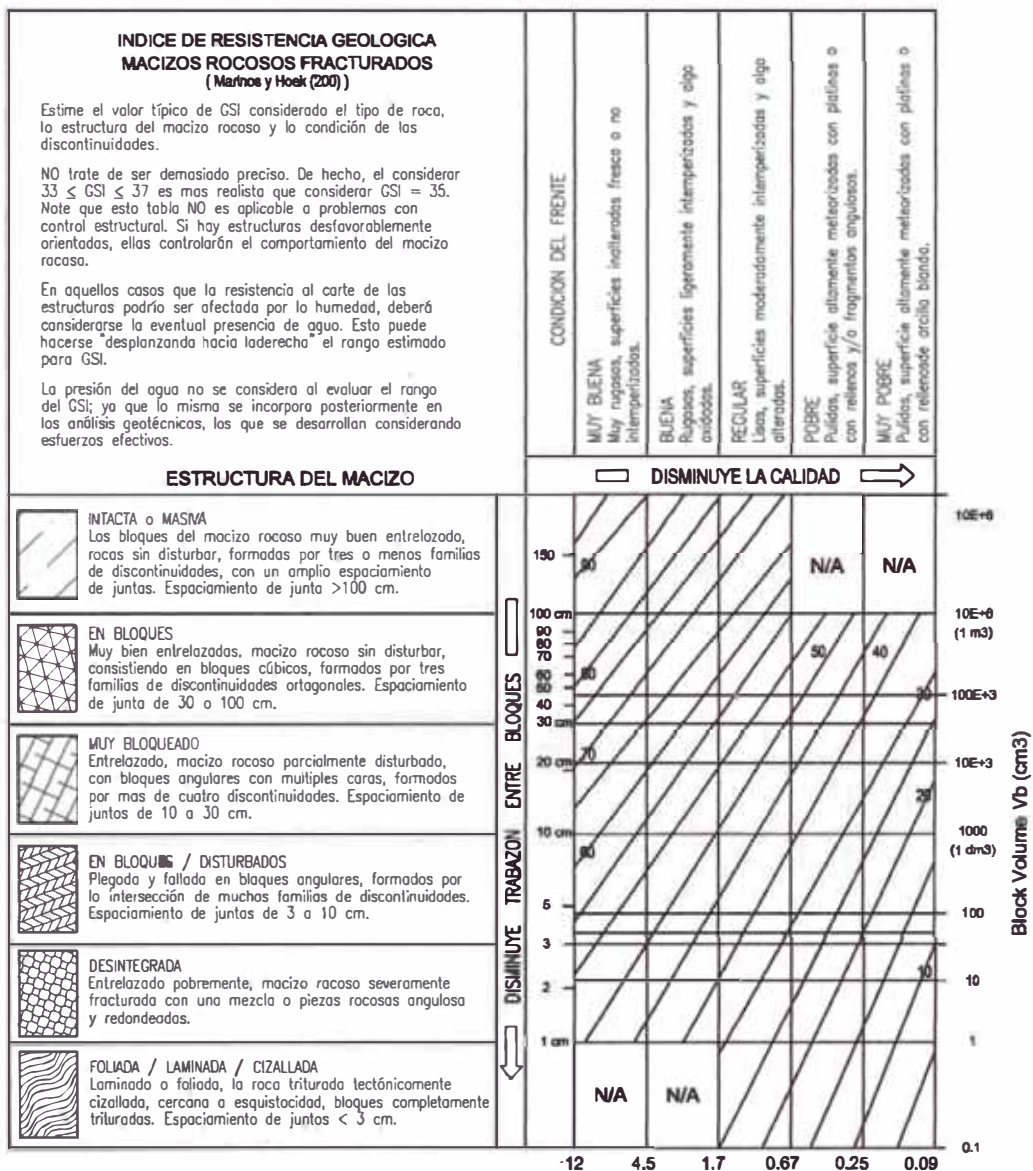


Figura 6.7. Índice de Resistencia Geológica (GSI). Ref. Marinos & Hoek, 2000.

6.4.5 Criterio de Resistencia Hoek-Brown (2002)

El criterio de mayor aplicación es el de Hoek-Brown. El criterio generalizado de Hoek-Brown es el que reúne todas las modificaciones en su formulación (desde 1980 hasta el 2002). Este criterio es expresado en términos de los esfuerzos efectivos principales mayor y menor y la resistencia a compresión simple de la matriz rocosa.

$$\sigma'_1 = \sigma'_3 + \sigma_{ci} \left(m_b \frac{\sigma'_3}{\sigma_{ci}} + S \right)$$

Dónde: σ'_1 y σ'_3 , esfuerzos efectivos principales mayor y menor, respectivamente; σ_{ci} , resistencia a compresión uniaxial de la matriz rocosa; m_b , s y a , constantes del macizo rocoso, determinados por:

$$m_b = m_i \exp \left(\frac{GSI-100}{28-14D} \right)$$

$$s = \exp \left(\frac{GSI-100}{9-3D} \right)$$

$$a = \frac{1}{2} + \frac{1}{6} \left(\exp^{-GSI/15} - \exp^{-20/3} \right)$$

donde: m_i , constante de la matriz rocosa; GSI, Índice de Resistencia Geológica; y D, factor de perturbación.

Para la determinación de m_i se han utilizado las tablas sugeridas por Hoek y Brown (1997) y Hoek, Marinos y Benissi (1998); Hoek y Marinos (2000); Marinos y Hoek (2000). Los valores adoptados corresponden a las rocas, de tipo caliza y riocacita, y son los que se presentan en el siguiente Tabla.

Tabla 6.7. Valoración m_i .

Tipo de roca	Hoek Brown (1997)	Laboratorio
Granodiorita	30	28.49
Gneis	33	23.75

Fuente : “Estudio Definitivo para la Construcción del Túnel Yanango y Accesos”.

6.4.6 Zonificación e Índices de Calidad del Macizo del Túnel Proyectado

Los parámetros que intervienen en la clasificación de macizo rocoso fueron obtenidos de los ensayos de mecánica de rocas en el laboratorio, mapeos de afloramientos, registros de perforaciones diamantinas.

La resistencia de la roca intacta fue obtenida en los ensayos de laboratorio, las familias de discontinuidades en los afloramientos, características intrínsecas de las juntas y la densidad de fracturas en los testigos de la perforación, y el grado de fracturamiento y meteorización del macizo rocoso a partir de las velocidades sísmicas y evaluación geológica.

En el Anexo H Plano GE-03 se presenta el perfil longitudinal geológico geotécnico del túnel. En las tablas siguientes se zonificación características del macizo rocoso y la sectorización final del túnel Yanango.

Tabla 6.8. Zonificación Características del Macizo Rcoso

Parámetros		Túnel Yanango		
		77+770 – 77+300	77+300 – 77+150	77+150 – 76+910
Índice del Macizo Rcoso	RQD (%)	60 - 70	64	53 - 70
	RMR	41 - 50	< 40	47 - 51
	Q	2.6 - 6	< 2.8	2.3 – 7.1
	GSI	50 - 56	51	47 - 53
Tipo de Roca		III B	IV A	III A

Tabla 6.9. Sectorización Final del Túnel Yanango.

Km	77+770 – 77+300	77+300 – 77+150	77+150 – 76+910
Tipo de Roca	III B	IV A	III A

Fuente : “Estudio Definitivo para la Construcción del Túnel Yanango y Accesos”.

CAPÍTULO VII: ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES

Para esta etapa del estudio, se debe definir los elementos del proyecto que requieran el análisis de estabilidad de taludes. Por ser una obra subterránea, los taludes que se generan en general se ubican en los portales de ingreso y salida y de acuerdo al tipo de material (suelo y/o roca) se escojera la metodología apropiada.

7.1 MÉTODOLOGÍAS DE CALCULO

La bibliografía brinda variados métodos para analizar la estabilidad de taludes, de los cuales destacan:

Métodos Aproximados:

El método simplificado de BISHOP (1955), supone que la fuerza de las caras laterales son horizontales, solo satisface el equilibrio de momentos y no el de fuerzas horizontales, es un método de aplicación a líneas de rotura circulares. El factor de seguridad esta dado por la expresión:

$$FS = \frac{\sum (c + \Delta c) \cos \theta + (N - ul)_i \tan \phi \left| \frac{\sec \theta}{FS} \right.}{\sum m_i g \sin \theta} \left| 1 + \frac{\tan \theta \tan \phi}{FS} \right|$$

El método de JAMBU (1954), supone conocidos los n-1 valores de b posiciones de los empujes normales a las caras de las dovelas, es de aplicación a superficies de rotura cualesquiera, no cumple el equilibrio de momentos y si el de fuerza. La expresión del factor de seguridad es:

$$FS = \frac{\sum (c + \Delta c) \cos \theta + (N - ul)_i \tan \phi \left| \cos \theta \right.}{\sum m_i g \sin \theta}$$

Métodos Exactos:

Método de MORGENSEN-PRICE (1965), aplicando a líneas de rotura cualesquiera, se basa en la suposición de que la relación entre las fuerzas tangenciales y normales en las caras laterales de las dovelas, se ajusta a una función, que es preciso definir previamente, multiplicada por un parámetro, este parámetro es la incógnita que completa el problema, el método satisface todas las condiciones de equilibrio. La expresión que resuelve el factor de seguridad es:

$$\frac{c' dx \sec\theta + dN' \tan\phi'}{F} = dE' \cos\theta + dP_w \cos\theta - dX \sin\theta + dW \sin\theta$$

Método de SPENCER (1967), es análogo al anterior, considerando como función una constante, que constituye el parámetro necesario para completar el problema.

7.2 METODOLOGÍA DE DISEÑO

Para el diseño de los taludes de corte en el portal de entrada y salida del túnel, se consideró su geometría y las características geológico-geotécnico de los materiales, para luego ser analizados con los programas Slide y DIPS (Versión 5.0 - Rocscience). A continuación se detallan los análisis de los taludes.

7.2.1 Factores de Seguridad Permisibles

Tabla 7.1: Factores de Seguridad Para el Diseño de Taludes

Caso	Factor De Seguridad
Si puede ocurrir la perdida de vidas humanas al fallar el talud	1.7
Si la falla puede producir la perdida de mas del 30% de la inversión de la obra especifica o perdidas consideradas importantes	1.5
Si se pueden producir perdidas económicas no muy importantes	1.3
Si la falla del talud no causa daño	1.2

Fuente: Jaime Suarez Diaz, Seminario de Taludes, Colombia.

7.2.2 Análisis de Estabilidad Global del Portal de Entrada

La altura de los taludes de corte del portal de entrada están entre 14 a 24 m de altura; por lo que, fue necesario evaluar su estabilidad. El análisis fue con el método de equilibrio límite de Bishop, cuyo algoritmo de cálculo está contenido en el programa Slide (Versión 5.0 - Rocscience). Los datos requeridos para el análisis de estabilidad son la geometría del talud, los diferentes tipos de materiales, los parámetros de resistencia del suelo y un coeficiente sísmico para el análisis de estabilidad de los taludes es 0.14g según el estudio de peligro sísmico, detallado en el Anexo C.

Teniendo en consideración las condiciones geológicas y geotécnicas de los materiales donde están proyectados el portal de entrada, se han diseñado los taludes con ángulos de 1H:3V y alturas que varían según a la topografía del talud de 14 m a 24m. Los parámetros que se utilizaron se describen a continuación :

Tabla 7.2. Parámetros Empleado en el Análisis de Estabilidad.

Muestra	SUCS	γ_s (gr/cm ³)	w %	Triaxial CU			
				c (kg/cm ²)	ϕ (°)	c' (kg/cm ²)	ϕ' (°)
M-1	SW	1.76	8.0	0.2	23	0	36.1

Los factores de seguridad obtenidos con el análisis de estabilidad, se resumen en el siguiente Tabla.

Tabla 7.3. Factores de Seguridad Obtenidos.

Sección	Condiciones	Portal	Factor de Seguridad	
			Estático	
76+740	Actuales	De Entrada	1.499	
	Proyectada		1.170	
	Eventual Sostenimiento		1.633	
	Proyectado con Obra		Estatico	Pseudo
			1.349	1.283

Para una protección eventual del talud de suelo en el portal de entrada, se recomienda colocar un sistema de refuerzo, consistente en una malla de sostenimiento temporal. Se recomienda realizar el corte del talud en épocas de estiaje.

Acontinuacion se presenta las salidas del programa Slide

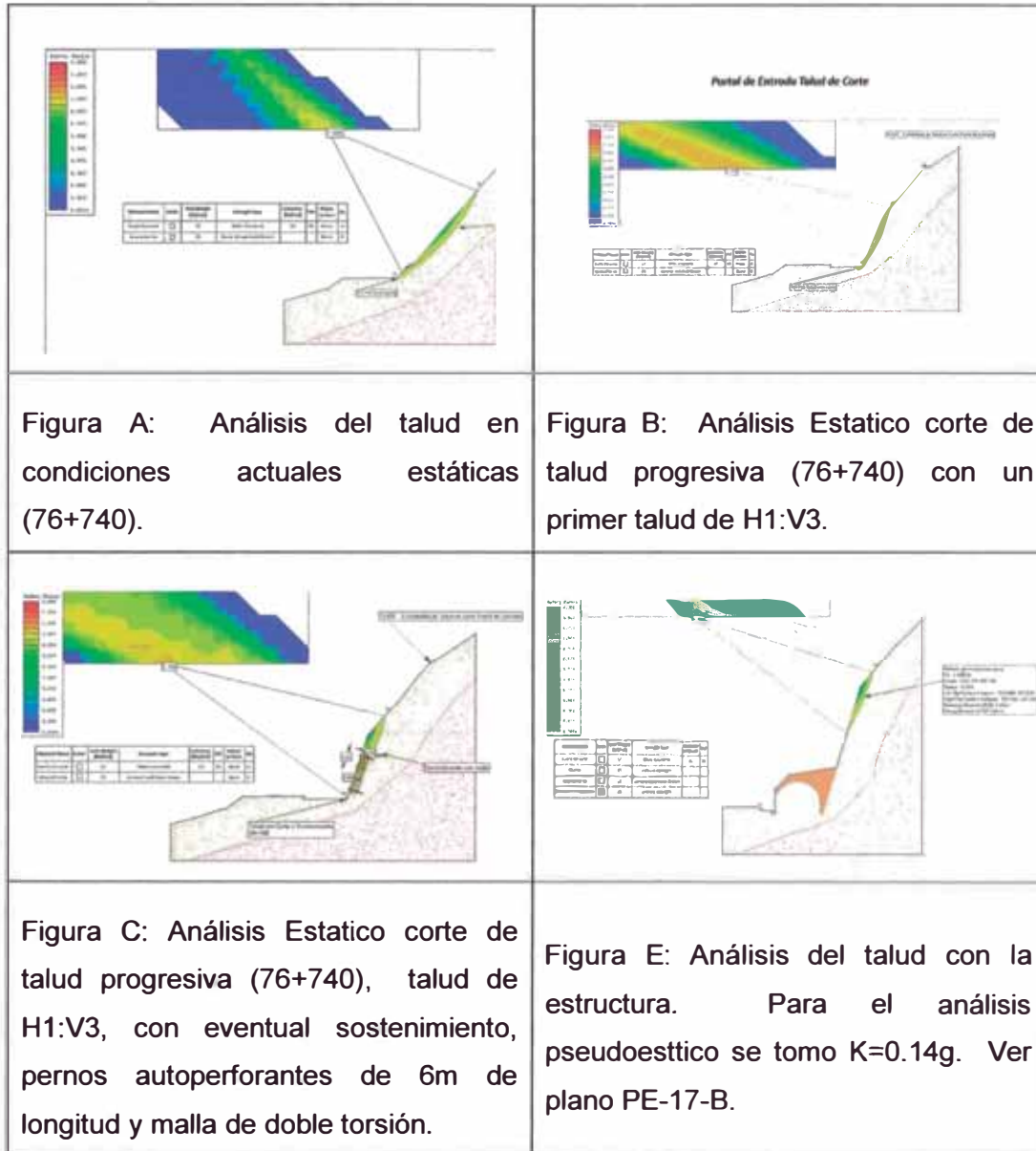


Figura 7.1. Análisis de Estabilidad de Taludes Portal de Entrada

7.2.3 Análisis de Estabilidad del Portal de Salida– Método Cinemático.

En el análisis para el portal de salida se utilizó el método cinemático con el programa DIPS (Versión 5.0 – Rocscience), donde se evaluó las posibles fallas que pueden ocurrir tales como: falla planar, falla por cuña y falla por Volteo. El talud de corte en condiciones actuales es de 1:10 (H:V) en roca competente. A continuación se muestra las salidas del programa. Ver las figuras:

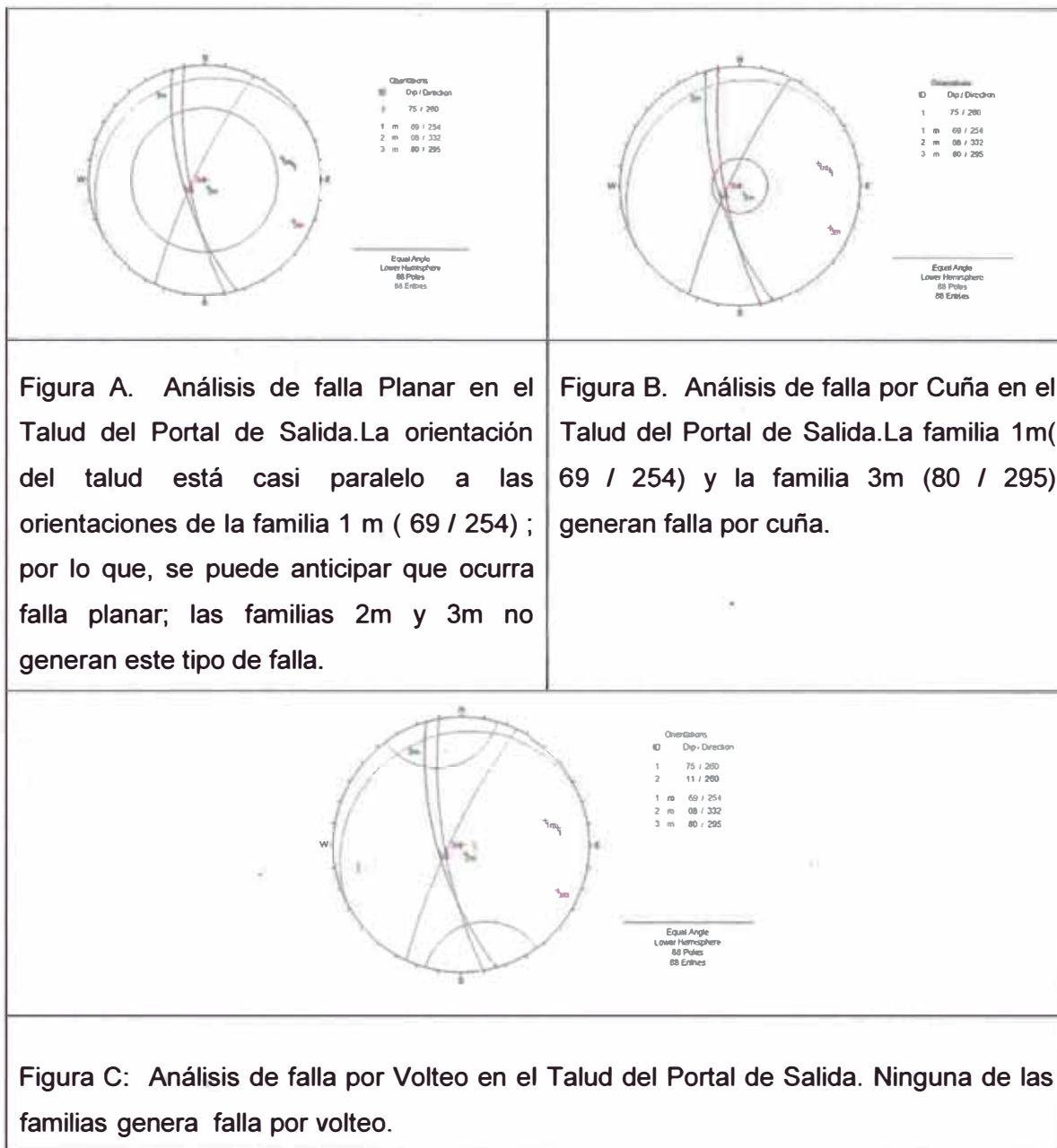


Figura 7.2. Análisis de Estabilidad- Método Cinemático Portal de Salida

Para el portal de salida, se han diseñado taludes de corte con una banqueta, dejando una berma intermedia de 3.0 m de ancho. Los taludes tienen unos ángulos de 1H:10V y una altura de 20m. y el segundo talud 1H:8V. Los factores de seguridad obtenidos con el análisis de estabilidad, se resumen en la Tabla 7.4 .Otro método de análisis realizado en el portal de salida es la evaluación global con el programa de computo Slide (Versión 5.0 – Rocscience), los factores de seguridad obtenidos indican que son estables, para la condición estática como pseudo-estática.

Tabla 7.4. Factores de Seguridad Obtenidos.

Sección	Condiciones	Portal	Factor de Seguridad	
			Estático	Pseudo Estático
77+770	Actuales	De Salida	2.198	1.824
	Proyectadas		1.622	1.326
	Sostenimiento		1.658	1.601

Acontinuacion se muestra las salidas del programa Slide (Versión 5.0 – Rocscience), del talud en roca ubicado en el portal de salida.

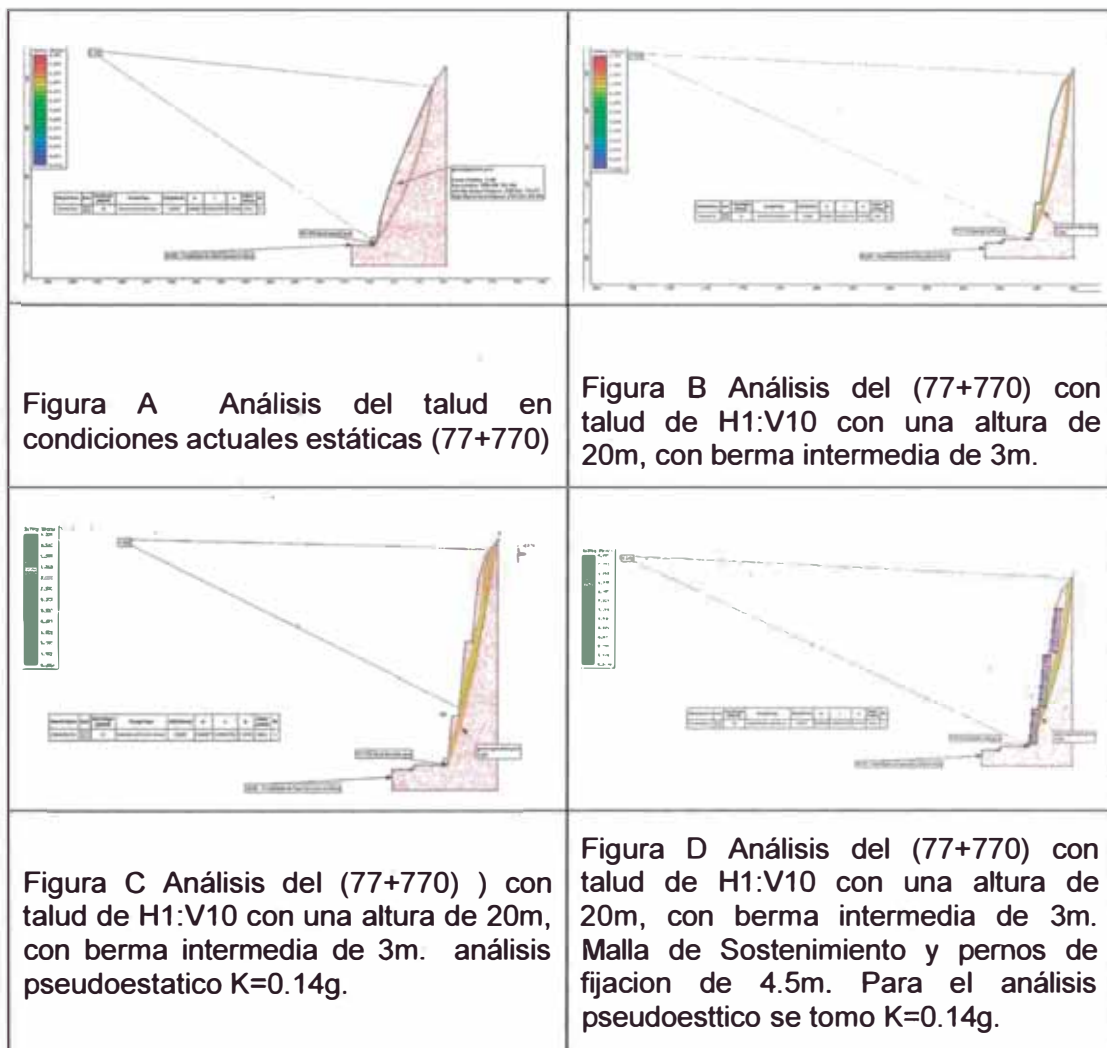


Figura 7.3. Análisis de Estabilidad de Taludes Portal de Salida

CAPÍTULO VIII: ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DEL TÚNEL

8.1 DISEÑO DE SOSTENIMIENTO DEL TÚNEL - ÍNDICE Q

Para estimar los sostenimientos a partir del índice Q se definen los siguientes parámetros: Diámetros equivalentes del túnel y ESR: factor que depende del tipo de excavación, cuyos valores se indican en el Tabla 8.1.

Los sostenimientos se estiman según se indica en la figura 8.1. El diámetro del túnel utilizado para la estimación del sostenimiento es de 14m por condiciones viales(dos carriles).

Tabla 8.1. Determinación del Factor ESR.

Clase	Tipo de excavación	ESR
A	Minas abiertas temporalmente.	3 - 5
B	Pozos verticales.	2.5 - 2
C	Minas abiertas permanentemente, túneles hidroeléctricos, túneles pilotos y galerías de avance para grandes excavaciones.	1.6
D	Cavernas de almacenamiento, Plantas de tratamiento de aguas, túneles pequeños de carretera y ferrocarril, túneles de acceso.	1.3
E	Centrales eléctricas subterráneas, túneles grandes de carretera y ferrocarril, cavernas de defensa civil, boquillas intersecciones .	1.0
F	Centrales nucleares subterráneas, estaciones de ferrocarril, pabellones deportivos y de servicios, etc.	0.8

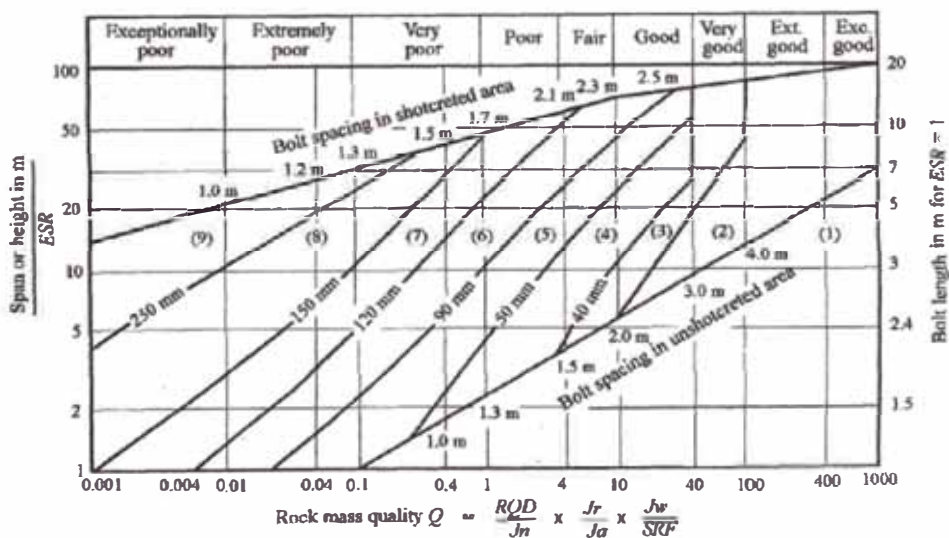


Figura 8.1. Sostenimiento Según índice Q.

Tabla 8.2. Soporte y Refuerzo Recomendado por el Sistema Q.

Túnel	Progresiva	Tipo Roca	Sostenimiento Recomendado Según Q
Roca	77+770 – 77+300	III B	Empernado sistemático con pernos de 4.5 m de longitud, concreto 10cm.
	77+300 – 77+150	IV A	Empernado sistemático con pernos de 4.5 m de longitud, concreto 10cm.
	77+150 – 76+910	III A	Empernado sistemático con pernos de 4.5 m de longitud, concreto 10cm.
Suelo	76+910 – 76+800	-	-

Tabla 8.3: Sectorización Final del Túnel

Km	77+770– 77+300	77+300 – 77+150	77+150 – 76+910
Tipo de Roca	III B	IV A	III A

8.1.1 Análisis por Cuñas (Unwedge)

Para el análisis de las cuñas se ha utilizado el programa desarrollado por el Grupo de Ingeniería de Rocas de la Universidad de Toronto, utilizado para analizar la geometría y la inestabilidad de cuñas existentes alrededor de excavaciones subterráneas; estas cuñas están definidas por tres discontinuidades estructurales y por la superficie de excavación, pudiéndose visualizar en tres dimensiones y obteniéndose el factor de seguridad frente a la rotura. También es posible estimar y definir el sostenimiento al permitir la disposición de pernos puntuales o en malla y hormigón proyectado (shotcrete). El análisis se basa en la hipótesis de que las cuñas están sujetas a la acción gravitacional no teniendo en cuenta el campo tensional que afecta los alrededores de la excavación.

El análisis cinemático considera las familias principales de las discontinuidades y la orientación del túnel, ha permitido inferir que es probable la presencia de cuñas en el techo y hastiales del túnel. La evaluación en detalle es presentado en el Anexo F.1.

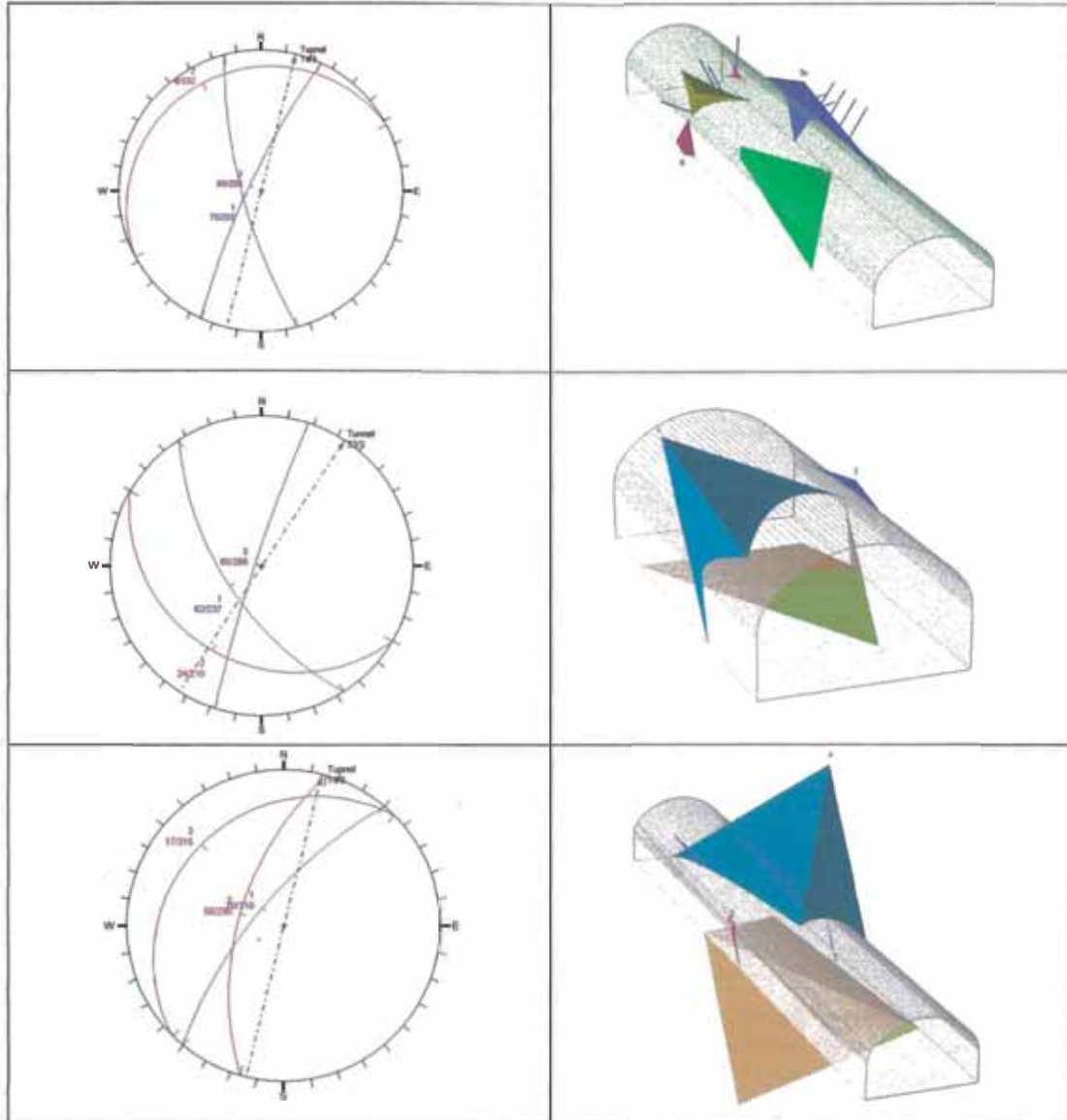


Figura 8.2. Familias de Discontinuidades y el Análisis de Estabilidad de Cuñas.

8.1.2 Modelamiento de las Secciones del Túnel Yanango

Se ha realizado el análisis numérico con el programa de cómputo PLAXIS, el cual trabaja a base de elementos finitos. Se tomaron como muestras las secciones km 77+060, km 77+420, km 77+520, 77+250, 77+720 y 77+740 donde los factores de seguridad obtenidos resultan los que se muestran en el Tabla adjunto 8.4. La evaluación en detalle es presentado en el Anexo F.3.

Tabla 8.4. Diseño de Sostenimiento del Túnel.

Tipo de Roca	Seccion de Análisis	Factor de Seguridad
IIIA	77+060	3
	77+420	4
	77+520	4
IIIB	77+720	3
	77+740	7
IVA	77+150 – 77+300	6

Del análisis de los esfuerzos generados en el revestimiento se concluye que el factor de seguridad mínimo es de 3.

8.1.3 Diseño Propuesto

Diseño propuesto para sostenimiento del túnel Yanango.

Tabla 8.5: Diseño de Sostenimiento del Túnel

Progresiva	Bieniawski (RMR)	Barton Índice Q	Calidad del Macizo	FS. Unwedge	Diseño Propuesto
77+770 – 77+544	41	6	III B	3.468	Empernado sistemático con pernos 4.5m de longitud, espaciado 2.10m. Concreto lanzado (shocrete) de 10cm de espesor reforzado con malla electrosoldada.
77+544 – 77+494	49	5	III B	1.968	
77+494 – 77+300	45	3	III B	1.622	
77+300 – 77+150	40	3	IV A	3.680	Marco reticulado (cimbras), con malla electrosoldada, y encofrado perdido de concreto fluido (placa bernold). Concreto lanzado (shocrete) de 25cm de espesor.
77+150 – 77+024	51	6	III A	1.132	Empernado sistemático con pernos 4.5m de longitud, espaciado 2.30m. Concreto lanzado con fibra de 10cm de espesor.
77+024 – 76+910	50	7	III A	1.132	

Tabla 8.6. La Sectorización Final del Túnel.

Km	77+770 - 77+300	77+300 – 77+150	77+150 – 76+910
Tipo de roca	III B	IV A	III A

CAPÍTULO IX: PROCESO CONSTRUCTIVO

El método de perforación y voladura es el sistema recomendado para la excavación de túneles en roca dura. Las partes o trabajos elementales que constan en el ciclo de trabajo característico de este sistema son las siguientes:

- Replanteo en el frente del esquema de tiro
- Perforación de los Taladros
- Carga con explosivo de los taladros (barrenos)
- Voladura y ventilación
- Limpieza de los escombros, desatado de rocas sueltas del frente, en bóveda y hastiales.
- Reforzamiento eventual del último tramo excavado.

9.1 PROCESO CONSTRUCTIVO EN SUELO COLUVIAL

Aplicables para la excavación del túnel en suelos coluviales entre las progresivas km 76+800 al km76+910.

- En el frente de avance del túnel en suelo coluvial, se aplicará una capa de concreto lanzado (shotcrete) con espesores totales de 03 cm reforzado.
- Se coloca la última cimbra, sobre esta se hace una sobre excavación para colocar la viga collarin.
- Se arma el acero y el encofrado de la viga collarin dejando pases de pvc diámetro 3" y se efectúa el vaciado de la viga collarin.
- Se procederá con la perforación e instalación del sistema de paraguas "pernos auto perforantes" de doce metros de longitud con un diámetro de 100 milímetros que descansan en una viga tipo collarin de concreto y usando los pases de pvc 3" (los pases de pvc 3" están espaciados a 1.00m a lo largo de la curva de la boveda) , estas barras serán colocadas a cada 9.00m en dirección del avance para obtener 3.00m de traslape, en cada sección se colocaran 15 pernos; y se tiene previsto realizar 12 secciones a lo largo de 110m, con un total de 180 pernos auto perforantes.
- Se procede con la inyección de lechada de cemento en los pernos huecos (sistema de paraguas).

- Se inicia la perforación e instalación de los tirantes de fibra de vidrio de 12 metros de longitud con un diámetro de 100 milímetros en el frontón conservando en lo posible las equidistancias propuestas.
- Para la instalación de los tirantes de fibra de vidrio se procederá de la siguiente manera:
 - siguiendo la malla de perforación propuesta, se procederá con la perforación encamisada en el frente del túnel obteniendo una distancia de 12m y diámetro de 100 mm.
 - La perforación encamisada se realizará con la finalidad de obtener los 100 mm de perforación en suelo, sin que este lo afecte.
 - se utilizarán tubos pvc de 50mm de diámetro en los cuales se colocarán las cintas de fibra de vidrio de 40x4mm por la parte externa del tubo a manera de un triángulo como se muestra en la figura del detalle "c".
 - El tubo con las cintas de fibra de vidrio será introducido de manera manual en la perforación para luego ser inyectado con lechada de cemento, luego se retirará la camiseta.
 - El avance se realizará con ayuda de la máquina excavadora hasta completar los primeros de 1.23m. quedarán colgados los tirantes de fibra de vidrio, los cuales se retirarán cortándolos con una hoja de sierra o similar.
- El avance típico será de 1.23m, se instala la primera cimbra colocándola sobre una parte de la contra bóveda (previamente se hizo la excavación para la colocación de dicha parte de la contraboveda) convirtiéndolas en una zapata corrida dejando que las mechas de acero de la contra bóveda pasen. Las cimbras se colocan y unen a través de las platinas proyectadas. Estas cimbras se auto sostendrán a través de sus respectivos tensores de unión. Luego de esto se aplicará una capa de shotcrete de 3cm.
- Se colocará la plancha de acero tipo Bernold, siguiendo el nivel anterior del falso túnel, quedando la parte superior entre la plancha y el suelo excavado, un espacio el cual será rellenado con concreto fluido $f_c=280\text{kg/cm}^2$.
- Así se realizará la excavación cada 1.23m, siguiendo los pasos anteriores y como se muestra en la figura de "avance del túnel en corte y relleno".

- Después de un avance aproximado de 20 metros, se procederá con la excavación a nivel de subrasante para la construcción de la contrabóveda, ésta se unirá a la contrabóveda que sirvió de apoyo a las cimbras.
- Luego se rellena con material de cantera y restituye el nivel de la subrasante.

9.2 PROCESO CONSTRUCTIVO TRAMOS DE ROCA IIIA Y IIIB

En esta zona se excavara la roca por medio del método de perforación y voladura, para ello se realiza predisposición de la malla de perforación según planos, el avance por voladura será de 3.50 metros aproximadamente, los tramos de roca IIIA y IIIB se consideran según estudios geotécnicos como regular a buena, por tal motivo el revestimiento que se realizará en estos tramos de roca buena será únicamente los pernos de anclaje $D=25\text{mm} \times 4.50\text{m}$, colocadas perpendicularmente, desde las progresivas Km 76+910 al Km 77+770, estos pernos se colocarán junto con la malla electro soldada de 4"x4", con 2 capas de shotcrete de 5cm., luego se dispondrá de una capa de poliurea en spray a lo largo de todo este tramo de 0.03 cm de espesor.

Para las progresivas que van desde Km 77+150 al km 77+300 se tiene la roca tipo IVA, debajo de la quebrada, para ello también se colocarán los pernos junto con la malla electrosoldada de 4"x4", con 2 capas de shotcrete de 5cm., se colocan las cimbras tipo celosía A, y la plancha Bernold con los tensores y la inyección de concreto fluido $f'c=280\text{Kg/cm}^2$, luego se dispondrá de una capa de poliurea en spray a lo largo de todo este tramo de 0.03 cm de espesor.

9.3 PROCESO CONSTRUCTIVO TRAMOS DE ROCA IVA

Aplicables para la excavación del túnel en roca IVA

- Instalar pernos helicoidales (diámetro 32mmx3.0m) inclinados hacia el frente de avance, espaciados cada 1.23m longitudinalmente y 0.45m transversalmente(a lo largo de la bóveda).
- Perforación y voladura de frente parcial, la longitud del avance debe ser como máximo 1m.

- Aplicar 50mm de shotcrete reforzado con fibra metálica y se instala malla electro soldada de refuerzo (capa 1).
- Instalar pernos sistemáticos perpendiculares a la segunda sección, espaciados cada 3m transversalmente (a lo largo de la bóveda) y 1.23m. Longitudinalmente.
- Aplicar la segunda capa de sotcrete reforzado con fibra para completar un espesor de 100mm.
- Perforación y voladura del invert (zona inferior no volada), la longitud de avance se determinara in situ en consideración al proceso constructivo.
- Instalar cimbra metálica.
- Conformar rampa de acceso para trabajos de la bóveda.

CAPÍTULO X: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

10.1 CONCLUSIONES

1. El túnel Yanango se proyecta sobre rocas intrusivas y depósitos cuaternarios. Las rocas del Complejo Maraynioc, constituye la roca más antigua de la región, estas han sido sometidas a varios eventos tectónicos y diastróficos transformándose en rocas metamórficas conocidas como esquistos, mica esquistos y gneis.
2. Localmente, las unidades estratigráficas del área del proyecto donde se encuentra el túnel Yanango, está constituido por depósitos cuaternarios (deslizamientos, coluviales, aluviales y fluviales), rocas intrusivas y Gneis (Gneis de Huacapistana).
3. El talud de corte del portal de entrada es 1H:3V y presentan una altura variable de 10m hasta 22m. Los factores de seguridad indican que son estables. Si en caso se necesitara una protección del talud para favorecer la estabilidad del mismo se debe colocar un sistema de refuerzo, consistente en una malla anclada con pernos auto perforantes de 6m de longitud y espaciados a cada 2m.
4. El portal de salida se desarrolla en roca, el talud de diseño es 1H:10V y presenta una berma de 3.00 m de ancho, ubicada a 20m de altura del pie de talud. Los factores de seguridad obtenidos en el análisis de estabilidad en roca, se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 10.1. Factores de Seguridad Permisibles.

Sección	Condiciones	Portal	Factor de Seguridad	
			Estático	Pseudo estatico
77+770	Actuales	De Salida	2.198	1.824
	Proyectadas		1.622	1.326
	Sostenimiento		1.658	1.601

5. Se concluye que los factores de seguridad del túnel en suelo se encuentran favorables con un sistema de sostenimiento especificado en el volumen del proceso constructivo. El factor de seguridad es 1.83 y desplazamiento total de 1.0cm.

6. Los índices de calidad del macizo rocoso estimado para el túnel Yanango, se muestran a continuación:

Tabla 10.2. Zonificación Características del Macizo Rocosó

Parámetros		Túnel Yanango			
		77+770 – 77+300	77+300 – 77+150	77+150 – 76+910	76+910 – 76+800
Índice del Macizo Rocosó	RQD (%)	60 - 70	64	53 - 70	64
	RMR	41 - 50	< 40	47 - 51	40
	Q	2.6 - 6	< 2.8	2.3 – 7.1	2.8
	GSI	50 - 56	51	47 - 53	51
Tipo de Roca		III B	IV A	III A	IVB

7. El portal de salida en los Km 77+770 al Km 78+150 se han clasificado dos tipos de roca para efectos de excavación: 90% de roca fija y 10% de roca suelta.
8. La sectorización final del túnel será como se presenta a continuación:

Tabla 10.3. Sectorización Geológica Geotécnica del Túnel

Km	77+770– 77+300	77+300 – 77+150	77+150 – 76+910
Tipo de Roca	III B	IV A	III A

10.2 RECOMENDACIONES

1. Se recomienda que la construcción del tramo bajo la quebrada Yanango sea realizado en época de estiaje.
2. En la etapa de ejecución realizar el control geomecánico de las discontinuidades, de acuerdo a los resultados obtenidos tomar medidas correctivas.
3. Instalar un sistema de instrumentación (extensómetro, células de presión total, dilatómetro, inclinómetros), que permita:
 - Tener un conocimiento real del comportamiento de la obra según va evolucionando la misma, así como de su influencia sobre otras excavaciones y estructuras próximas.
 - Comprobar “in situ” las diversas teorías de la Mecánica de Suelo y de Rocas, desarrolladas para el diseño y el dimensionado en los cálculos de proyecto.
 - Economizar en la ejecución de los trabajos al disponer de medidas obtenidas “in situ” que permiten una mejor evaluación de los mismos.
 - Mejorar las condiciones de seguridad, manteniendo totalmente controladas las labores en las más seguras condiciones posibles.
4. Se recomienda implementar una unidad de auxilio que brinde el apoyo de asistencia mecánica y remolque para cualquier eventualidad que pueda acontecer dentro del túnel.

BIBLIOGRAFÍA

1. AYALA FRANCISCO, "Manual de Túneles y Obras Subterráneas". Madrid-España, 1997.
2. BIENIAWSKI, "Engineering Rock Mass Classifications". Editorial Jhon Wiley & Sons, Pennsylvania E.E.U.U, 1989.
3. GONZALES DE VALLEJO "Ingeniería Geológica". Editorial PEARSON Prentice Hall, 1ª edición, Madrid-España, 2002.
4. ROBLES ESPINOZA NERIO H. "Excavación y Sostenimiento de Túneles en Roca". CONCYTEC, Lima-Perú, 1994.
5. UNIVERSIDAD POLITECNICA DE MADRID, "Ingeniería de Túneles". Madrid, España, 2001.
6. MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES(MTC) "Estudio Definitivo para la Construcción del Túnel Yanango y Accesos"
7. INGEMMET, Boletín 069 - Geología, Cuadrángulo de Tarma, Serie A, N° 23I.
8. INGEMMET, Boletín 078 - Geología, Cuadrángulo la Merced, Serie A, N° 23m.
9. VICTOR TOLENTINO YPARRAGUIRRE Msc. "Exposición de Tunelería " 2011. INSTITUTO EMPRESARIAL MITTAL.
10. MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES, "Estudio Definitivo para la Construcción del Túnel Yanango y Accesos", 2012.