

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS**



**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE FALSO TÚNEL EN EL PORTAL DE ACCESO DE LA GALERÍA PRINCIPAL DEL N<sup>o</sup>. 4853 DE LA MINERA MINARVA, U.M. LA RINCONADA ANANEA”**

**TESIS**

**PRESENTADA POR:**

**ALEXANDER QUILCA RUELAS**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO DE MINAS**

**PUNO - PERÚ**

**2017**

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS  
CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



**TESIS**

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE FALSO TÚNEL EN EL PORTAL DE ACCESO  
DE LA GALERÍA PRINCIPAL DEL Nv. 4853 DE LA MINERA MINARVA, U.M.  
LA RINCONADA – ANANEA.”**

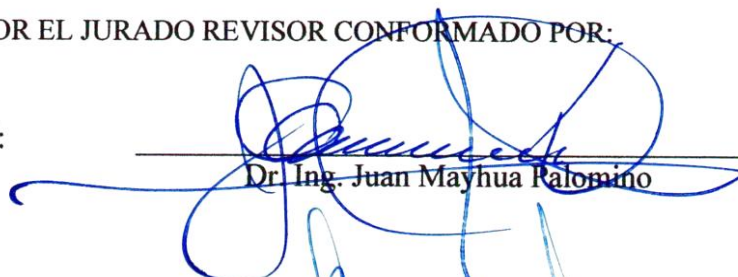
PRESENTADA POR:

Bach. ALEXANDER QUILCA RUELAS.  
INGENIERO DE MINAS

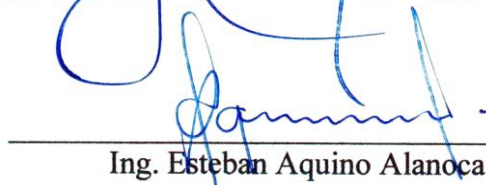
FECHA DE SUSTENTACIÓN: 23/06/2017

APROBADO POR EL JURADO REVISOR CONFORMADO POR:

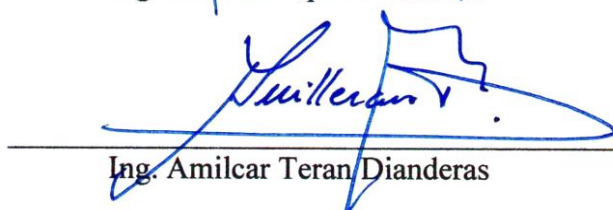
PRESIDENTE:

  
Dr. Ing. Juan Mayhua Palomino


PRIMER MIEMBRO:

  
Ing. Esteban Aquino Alanoca

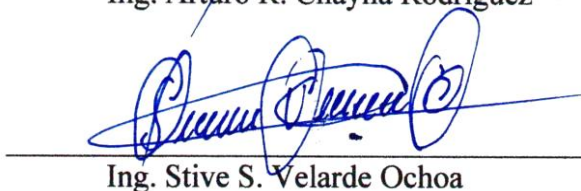
SEGUNDO MIEMBRO:

  
Ing. Amilcar Teran Dianderas

DIRECTOR DE TESIS:

  
Ing. Arturo R. Chayña Rodríguez

ASESOR DE TESIS:

  
Ing. Stive S. Velarde Ochoa

Área: Ingeniería de Minas

Tema: Diseño y construcción de falso túnel

**DEDICATORIA.**

A mis queridos padres José y Julia, por ser el soporte emocional de mi vida, y con su amor fortalecieron a seguir en el camino de la vida.

A mis hermanas: Maryela y Lizbeth y Fred que me apoyaron incesantemente en los momentos que más los necesitaba.

Al amor de mi vida Fiorella Milagros y mis tres v8. Alexa, Sofia y Ander, mis motores por ser una fuente inagotable de superación en mi vida diaria.

Alexander Quilca R

## AGRADECIMIENTO

A la Universidad Nacional del Altiplano mi alma mater que me cobijo en sus claustros, forjando y moldeándome con sabias y enseñanzas que me servirán como pilares fuertes en mi vida profesional.

A todos los docentes de la Facultad de Ingeniería de Minas de la Universidad Nacional del Altiplano Puno, quienes con su experiencia profesional y sabiduría me enseñaron a fortalecer mi conocimiento

Mi más sincero agradecimiento al Dr. Ing. Juan Mayhua, quien con su sabiduría y orientación me guio en mi vida universitaria.

A mi director Ing. Arturo Chayña Rodriguez quien me motivo a seguir con este trabajo.

A mi asesor ing. Stive S. Velarde quien con su forma me alentó y guio a terminar este proyecto.

A mis amigos Percy Salas, Wilson, Nicanor y el clan Valium, quienes con orientación y muchos ánimos esperaron la realización de este proyecto de tesis.

Alexander Quilca R.

**INDICE**

DEDICATORIA. ....	III
AGRADECIMIENTO .....	IV
INDICE .....	V
INDICE DE ANEXOS .....	VIII
ÍNDICE DE CUADROS .....	IX
ÍNDICE DE FIGURAS .....	X
RESUMEN .....	1
ABSTRACT .....	2
INTRODUCCIÓN .....	3

**CAPÍTULO I****PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

1.1. Descripción del problema .....	4
1.1.1 Definición del problema .....	4
1.2. Delimitación del problema .....	5
1.3. Justificación del problema .....	5
1.3.1. Problema general .....	5
1.3.2. Problemas específicos .....	6
1.4. Objetivos de la investigación .....	6
1.4.1. Objetivo general .....	6
1.4.2. Objetivos específicos .....	6

**CAPÍTULO II****MARCO TEÓRICO, MARCO CONCEPTUAL E HIPÓTESIS DE LA  
INVESTIGACIÓN**

2.1. Antecedentes de la investigación .....	7
2.2. Marco teórico .....	9
2.1.1 Base teorica.....	9
2.2.1 Hipótesis de la investigación. ....	28
2.2.1.1. Hipótesis general. ....	28
2.2.1.2. Hipótesis específica .....	28

**CAPÍTULO III****METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

3.1 Metodología de la investigación .....	29
3.2 Poblacion y muestra .....	29
3.2.1 Población .....	29
3.2.2 Muestra.....	31
3.3. Técnicas de investigación .....	32
3.4. Operacionalización de variable .....	33
3.4.1. Identificación y clasificación de variables e indicadores. ....	33
3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos. ....	34
3.5.1. Técnicas de análisis de datos. ....	34
3.5.1. Técnicas para el procesamiento de la información. ....	34
3.5.2. Recolección de datos.....	35
3.5.3. Recolección de datos primarios. ....	35
3.5.4. Procesamiento de datos secundarios.....	36
3.5.5. La síntesis. ....	36
3.5.6. Codificación. ....	37
3.5.7. Tabulación. ....	37
3.5.8. Cuadros estadísticos. ....	37
3.6. Gratificación. ....	38
3.7. Consistencia. ....	38
3.8. Requerimiento de equipo y software. ....	38
3.9. Caracterización del área de estudio. ....	40
3.9.1. Caracterización geológica. ....	40
3.9.1.1. Estratigrafía regional. ....	40
3.9.1.2. Estratigrafía local. ....	41
3.9.1.3. Geología local. ....	41

**CAPÍTULO IV****ANALISIS E INTERPRETACION DE RESULTADOS DE LA INVESTIGACION**

4.1. Caracterización de la geología estructural. ....	46
4.2. Caracterización geomecánica. ....	47
4.3. Levantamiento topográfico. ....	47
4.4. Ensayos de laboratorio. ....	51
4.5. Sismicidad del área de estudio. ....	59

4.5.1. Generalidades. ....	59
4.5.2. Aceleración del diseño. ....	60
4.5.3. Coeficiente sísmico. ....	60
4.6. Criterio general ....	62
4.6.1. Análisis histórico. ....	63
4.6.2. Calculo de las fuerzas de impacto ....	64
4.6.3. Factores que afectan la fuerza dinámica ....	66
4.7. Diseño de la estructura ....	67
4.7.1. Características generales del diseño de la estructura ....	67
4.7.2. Especificaciones de los materiales (concreto reforzado) ....	68
4.7.3. Dimensionamiento ....	70
4.7.4. Cargas ....	70
4.7.5. Cimentación ....	70
4.7.6. Viga pre esforzada. ....	70
4.7.6.1. Fundamentos del concreto pre esforzado ....	71
4.7.6.2. Calidad del acero (Fy) ....	71
4.7.6.3. Factor de incremento dinámico para el acero ....	71
4.7.6.4. Concreto básico del prees forzado ....	72
4.8. Construcción ....	72
4.8.1. Construcción de la estructura ....	72
4.8.2. Construcción de los cimientos ....	72
4.8.3. Construcción del muro perimetral con gaviones de piedra ....	72

## CAPÍTULO V

### EXPOSICIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

5.1. Generalidades ....	74
5.2. Criterio de análisis. ....	75
5.3. Condición de análisis. ....	75
5.3.1. Antecedentes y reseña histórica ....	75
5.4. Estudio geológico y geotécnico ....	75
5.5. Diseño del falso túnel ....	76
5.5.1. Factor de seguridad ....	77
5.6. Construcción del falso túnel ....	77
RECOMENDACIONES ....	81
BIBLIOGRAFÍA ....	82

## INDICE DE ANEXOS

ANEXO A	Ensayo de laboratorio
ANEXO B	Caracterización geomecánica
ANEXO C	Diseño de concretos
ANEXO D	Diseño de esfuerzos
ANEXO E	plano estructural y topográfico



## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadros 2.1 Clasificación RMR 89 (en uso actual).....	16
Cuadros 2.2 Clasificación de Bieniawski (1979) parámetros de clasificación.....	17
Cuadros 2.3 Clasificación de Bieniawski (1979): corrección por orientación juntas.....	18
Cuadros 2.4 Clasificación geomecánica de Bieniawski: orientación de las diaclasas....	18
Cuadros 2.5 Clasificación geomecánica de Bieniawski y característica .....	19
Cuadros 2.6 Clasificación geomecánica de Bieniawski estado de las discontinuidades	19
Cuadros 2.7 Caracterización geomecánica modificada por Hoek y Marinos 2000 .....	23
Cuadros 2.8 Hoja Excel para cálculo de aceros .....	28
Cuadros 3.1 Relación de comunidades del distrito de Ananea .....	31
Cuadros 3.2 Operacionalización de variables.....	35
Cuadros 3.3.Columna estratigráfica.....	47
Cuadros 4.1 Identificación de las estaciones geomecánicas realizadas.....	53
Cuadros 4.2 Tabla de resultados de gravedad .....	54
Cuadros 4.3 Tabla de resultados de laboratorio .....	55
Cuadros 4.4 Resumen de los ensayos .....	55
Cuadros 4.5 Factor de seguridad mínimo recomendado.....	59
Cuadros 4.6 Análisis de estabilidad física los taludes de corte.....	61
Cuadros 4.7 Variables que definen el impacto.....	64
Cuadros 4.8 Análisis histórico de caída de rocas.....	65
Cuadros 4.9 Calculo de fuerzas de impacto.....	69
Cuadros 4.10 Agregados gruesos .....	71
Cuadros 4.11 Agregados finos .....	71
Cuadros 4.12 Diseño de flexión cortante F axial y torsión en vigas.....	72
Cuadros 4.13 Metrado de cargas .....	76
Cuadros 5.1 Materiales para la construcción .....	78
Cuadros 5.2 Factor de seguridad.....	79

## ÍNDICE DE FIGURAS

figura 2.1 Tipos de obras de protección (Bandger and Lowell 2002) .....	9
figura 2.2 Ejemplo de obras de protección (Minera Miluska 2015) .....	10
figura 2.3 Ejemplo de esquema del talud-Rockfall 6.1 .....	11
figura 2.4 Ejemplo de esquema de ingreso de datos-Rockfall 6.1 .....	11
figura 2.5 Ejemplo Salida de datos – Rockfall 6. ....	12
figura 2.6 Estabilidad de taludes en zonas tropicales .....	13
Figura 3.1 vista panorámica Google Earth Rinconada.....	32
Figura 3.2 Plano de ubicación fuente DREM .....	32
Figura 3.3 Curvas de nivel de cerro lunar modelado con SketchUp pro .....	33
Figura 3.4 Curvas de nivel de cerro lunar modelado con SketchUp pro .....	33
figura 3.5 Ubicación de los depósitos de minerales y geología generalizada .....	43
figura 4.1 Curvas de nivel vista en planta en corte A en A. ....	50
figura 4.2 Curvas de nivel vista de perfil y ángulo con respecto a la roca. ....	51
figura 4.3 Determinación de familias de discontinuidades Caracterización geotécnica.	57
figura 4.4 Caracterización geomecánica y modos de falla .....	57
figura 4.5 Análisis pseudoestático del corte a – a.....	60
figura 4.6 Análisis pseudoestático del corte b – b´.....	60
figura 4.7 Distribución de ordenadas Manuel Monroy, Ana Bolaños.....	63
figura 4.8 Capacidad de absorción de energía para diferentes sistemas de protección...	64
figura 4.9 Simulación de caída fuente:” Rockfall.....	66
figura 4.10 Simulación de caída.....	66
figura 4.11 Diseño del falso túnel.....	70
figura 4.12 Armado de techo protector tipo baúl.....	71
figura 5.1 Procesos de construcción del falso túnel.....	79
figura 5.2 Término de la construcción del falso túnel.....	80
figura 5.3 Vista exterior e interior del túnel falso.....	80

## RESUMEN

El título de este trabajo de investigación es “Diseño y Construcción de Falso Túnel en el Portal de Acceso de la Galería Principal del Nv. 4853 de la Minera Minarva, U.M. La Rinconada – Ananea.” Es un trabajo que usa una metodología descriptiva experimental y aplicada que busca la seguridad, en el yacimiento aurífero Ana María la caída de rocas es uno de los mayores riesgos naturales que prevalecen. Un efecto importante después de la pérdida de vidas humanas son los daños que sufren los equipos de acarreo debido al impacto de los bloques de gran tamaño, en las cuales se generan pérdidas de operaciones y costos y en muchos casos cierre temporal por taponamientos en el acceso.

La construcción de túneles falsos para la seguridad de la caída de rocas se comporta de la misma manera que un puente, por lo tanto, su diseño y construcción está gobernado por las cargas dinámicas de impacto la cual aumenta los valores de esfuerzo cortante, siendo este parámetro el que gobierna el diseño.

La caracterización geomecánica se determinó mediante muestreos y se llegó a la conclusión del tipo de roca mala (IVA y IVB) en el talud de la zona baja y regular (IIIA y IIIB) en el talud de la zona alta y el diseño del falso túnel teniendo en cuenta el volumen máximo de bloque es de 50 m<sup>3</sup> a desprenderse con una altura de 50 m y un ángulo de 25° a 30°.

## ABSTRACT

The title of this research paper is "Design and Construction of False Tunnel in the Portal of Access of the Main Gallery of the Nv. 4853 of Mining Minarva, U.M. La Rinconada - Ananea." It is a work that uses a descriptive methodology experimental and application that looks for the security, in La Rinconada the fall of rocks is one of the greater natural risks that prevail. An important effect after the loss of human lives is the damage suffered by the hauling equipment due to the impact of large blocks, which result in losses of operations and costs and in many cases temporary closure due to access tampering.

The construction of false tunnels for the safety of rock fall behaves in the same way as a bridge, therefore, its design and construction is governed by dynamic loads of impact which increases the values of shear stress, this being parameter that governs the design. The geomechanical characterization was determined by means of sampling and it was concluded the rock type and the design of the false tunnel taking into account the volume and mass of rock to be released.

Geomechanical characterization was determined by sampling and the type of bad rock (IVA y IVB) In the slope of the lower and regular area (IIIA y IIIB) In the slope of the upper zone and the design of the false tunnel taking into account the maximum volume of block is 50 m<sup>3</sup> to be detached with a height of 50 m and an Angle of 25 ° to 30 °.

## INTRODUCCIÓN

En el Perú la seguridad es base fundamental de las operaciones mineras, pero aún no es suficiente. Los accidentes de caída de rocas de talud que ocurre en los yacimientos subterráneos, cuyo acceso se realiza tras la construcción de túneles. Esta práctica revierte un peligro inminente si no se toman las medidas necesarias. Por ejemplo, es posible que el túnel construido puede tener levemente un menor gálibo (dimensión máxima de altura o anchura) generando riesgos de derrumbes, lo cual expone al capital humano de trabajo.

En el yacimiento aurífero La Rinconada, durante muchos años anteriores las 240 cooperativa tienen muchos accidentes por caída de rocas, deslizamientos de hielo y derrumbes de talud de desmonte, y el mal planeamiento de sellado de bocaminas produciendo pérdidas humanas y económicas paralizando las operaciones mineras.

La minera Minarva por la mejora de la seguridad minera y en busca de proteger la integridad física de cada uno de los trabajadores hizo un plan de diseño y construcción de falso túnel que es igual a la de un puente con el fin de proteger las vías contra el impacto de las rocas, funcionando como techo protector con el propósito de absorber la energía del impacto de la roca en el portal de acceso de la galería principal del Nv. 4853 Ana María La Rinconada.

## CAPÍTULO I

### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

#### 1.1.Descripción del problema

##### 1.1.1 Definición del problema

En el yacimiento aurífero Ana María durante 10 años anteriores las 240 cooperativa tenía bastantes accidentes por caída de rocas, deslizamientos de hielo y derrumbes de talud, y el mal planeamiento de sellado de bocaminas produciendo pérdidas humanas y económicas paralizando las operaciones mineras.

La minera Minarva para evitar pérdidas humanas y económicas hizo un plan de diseño y construcción de falso túnel en el portal de acceso de la galería principal del Nv. 4853 Ana María La Rinconada - Ananea. La caída de rocas es uno de los mayores riesgos naturales que prevalecen en las regiones montañosas de nuestro país. Un efecto importante después de la pérdida de vidas humanas son los daños que sufren los accesos, debido al impacto de los bloques de gran tamaño, en las cuales se producen accidentes generando pérdidas económicas graves.

Los túneles falsos son estructuras que se han diseñado con el fin de proteger las vías contra el impacto de las rocas funcionando como techos protectores, su propósito es absorber la energía del impacto de la roca por medio de la utilización de un falso túnel el cual se diseña basado en ciertos parámetros que relacionan la fuerza de impacto con

el espesor de la capa. Se denominan falsos túneles porque no se construyen dentro de la montaña, simplemente se apoyan en el portal o talud; en algunos países los denominan "Galerías de protección" o "Falsos techos protectores"

El estudio es proporcionar una guía general enfocada al diseño y construcción de túneles falsos para la absorción de caída de rocas, y los procedimientos más importantes a seguir en la realización de un proyecto de este tipo.

### **1.2.Delimitación del problema**

Se delimitan por costos, espacios y tiempo

- Por ser altamente costoso y no contar con espacio no se pudo tener un laboratorio para realizar las pruebas de impacto con diversos tipos de placas y así poder determinar mediante análisis estadísticos el comportamiento de elementos sometidos a estas cargas y realizar ensayos
- No se evalúa en detalle el coeficiente de amortiguamiento del suelo.
- No se considera la falla por corte directo del suelo.
- No se consideran los efectos de la velocidad de propagación tridimensional de las grietas.

### **1.3.Justificación del problema**

En el yacimiento aurífero Ana María durante muchos años anteriores las 240 cooperativa tienen muchos accidentes por caída de rocas, deslizamientos de hielo y derrumbes de talud, y el mal planeamiento de sellado de bocaminas produciendo pérdidas humanas y económicas paralizando las operaciones mineras

#### **1.3.1. Problema general**

¿Cuál es el diseño y construcción de un falso túnel en el portal de acceso de la galería principal del Nv. 4853 de la Minera Minarva, U.M. La Rinconada Ananea?

### **1.3.2. Problemas específicos**

- a. ¿Cuál es la caracterización geomecánica del pie de talud del portal de acceso para la prevención de accidentes por caída de rocas en la minera Minarva U.M. Rinconada?
- b. ¿Cómo determinar La altura de caída y el ángulo de impacto del volumen máximo de roca a desprenderse del talud en el portal de acceso de la Minera Minarva U.M. La Rinconada?

## **1.4. Objetivos de la investigación**

### **1.4.1. Objetivo general**

Desarrollar un diseño y construir una estructura de un Falso Túnel en el portal de acceso de la galería principal del Nv. 4853 de la Minera Minarva, U.M. Rinconada Ananea que garantice el flujo normal de las operaciones

### **1.4.2. Objetivos específicos**

- a. Analizar la caracterización mediante el uso de métodos empíricos y genéricos del macizo rocoso circundante del portal de acceso de la galería principal de la Minera Minarva U.M. Rinconada.
- b. Determinar las características estructurales del elemento que pueda soportar las cargas generadas por la caída de rocas y el ángulo de impacto del volumen máximo de roca a desprenderse del talud.



## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO, MARCO CONCEPTUAL E HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN.

#### 2.1. Antecedentes de la investigación

Los siguientes títulos mostrados a continuación son investigaciones referenciales en el presente proyecto:

a. **Desarrollo de una herramienta para diseño de falsos túneles como protección contra impacto de caída de rocas usando redes neuronales artificiales.**

Sergio Esteban Rosales Garzón (2012), diseñó un túnel falso mediante un modelo numérico de caída de rocas sobre falsos túneles, con el que se pudo predecir con buena aproximación la respuesta del sistema de protección. “Losa de Concreto - Capa de Material Granular Disipador” ante el impacto de un bloque de roca. El modelo numérico logró integrar en un mismo análisis la respuesta de la losa de concreto reforzado y la capa de material granular ante una carga dinámica.

b. **Diseño y construcción de túneles falsos para el control de caídas de roca**

Albert Daniel Reyes Rivero y Mauricio Alfredo Martínez (2005) Diseño y construcción de túneles falsos para el control de caída de rocas en la carretera Bucaramanga es importante en nuestro medio y debe ser implementada en muchas

de las carreteras de nuestro país ya que debido a la topografía un gran número de vías se ven afectadas por estos eventos ocasionando grandes pérdidas humanas como económicas, por los taponamientos de las vías principales.

- c. Mario Orlando Morales Cárdenas (2009). En su tema de investigación caracterización geotécnica y determinación de ángulos de talud en yacimiento Fanke, memoria para optar al título de Ingeniero Civil de Minas de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas departamento de Ingeniería de Minas de la Universidad de Chile. Concluye: “El análisis determinístico, según modo de falla para cada uno de los perfiles, entrega factores de seguridad mayores a 1,3 en todos los casos al considerar el ángulo global de diseño. Al forzar que cada ángulo sea el definido por un FS igual a 1,3 encontramos que los perfiles 6, 9, 10 y 11 presentan un valor significativamente más bajo que los demás. Luego el análisis probabilístico se cumple para cada uno de los perfiles, satisfaciendo los requisitos establecidos como aceptables. Es importante destacar que los perfiles 6, 9, 10 y 11 presentan las mayores probabilidades de que el factor de seguridad sea menor a 1,3”.

## 2.2. Marco teórico

### 2.2.1 Base teorica

#### a. Factores importantes en el diseño de estructuras

Los factores más importantes para tener en cuenta en el diseño de estas estructuras son la trayectoria de las rocas, la velocidad, la energía de impacto y el volumen total de acumulación. De acuerdo con las características de la caída se pueden diseñar varios tipos de obras. (Lowell, Obras de proteccion, 2002)

Ver Figura 2.1

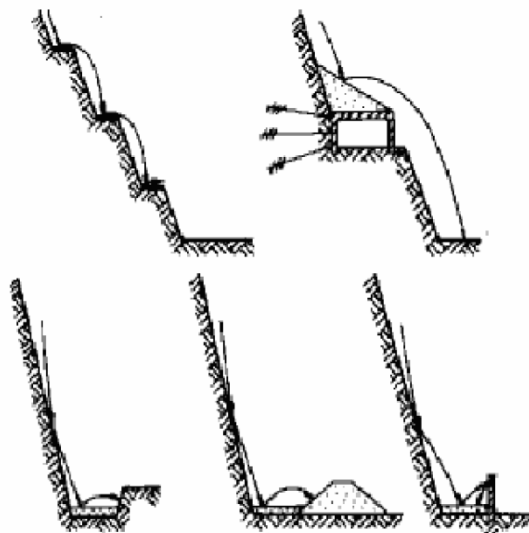


Figura 2.1 tipos de obras de protección

Fuente: Bandger and Lowell 2002

#### b. Túneles falsos o cubiertas de protección

Cuando existe la amenaza de caídas de roca en taludes de pendiente fuerte se puede plantear la construcción de cubiertas de protección o túneles falsos, que son estructuras que se han diseñado con el fin de proteger las vías contra el impacto de las rocas funcionando como techos protectores, su propósito es absorber la energía del impacto de la roca basado en ciertos parámetros que relacionan la fuerza de impacto. Ver Figura 2.2.



Figura2.2 Ejemplo de obras de protección

Fuente: Minera Miluska 2015

### c. Simulación de la caída de roca

La predicción de la caída de rocas es prácticamente imposible, la variabilidad en la geometría de los taludes, el desconocimiento de las condiciones iniciales, la falta de conocimiento sobre las propiedades de los materiales (especialmente los coeficientes de restitución) y la falta de un método de análisis que sea sensible cambios en estos parámetros contribuyen a dificultar la predicción.

El objeto de los programas de simulación es crear una herramienta útil para ayudar a los ingenieros con los análisis probabilísticos de las caídas de rocas, la cual sea de fácil acceso y que sirva para el análisis y diseño de medidas de prevención y probar su efectividad. Para realizar un modelo numérico se utiliza un procedimiento estadístico que permita la simulación de un elevado número de caídas de rocas, y que identifique las áreas más adecuadas para realizar una intervención mediante el análisis de la distribución de las energías cinéticas máximas y medias. (Jaime Suarez Diaz, 2005)

Algunos programas requieren una base topográfica y un estudio geomorfológico dirigido a la determinación de zonas de desprendimientos de bloques de rocas, de afloramientos rocosos y de los distintos tipos de materiales de cobertura (detritos o aluviones). Ver Figura 2.3 y 2.4

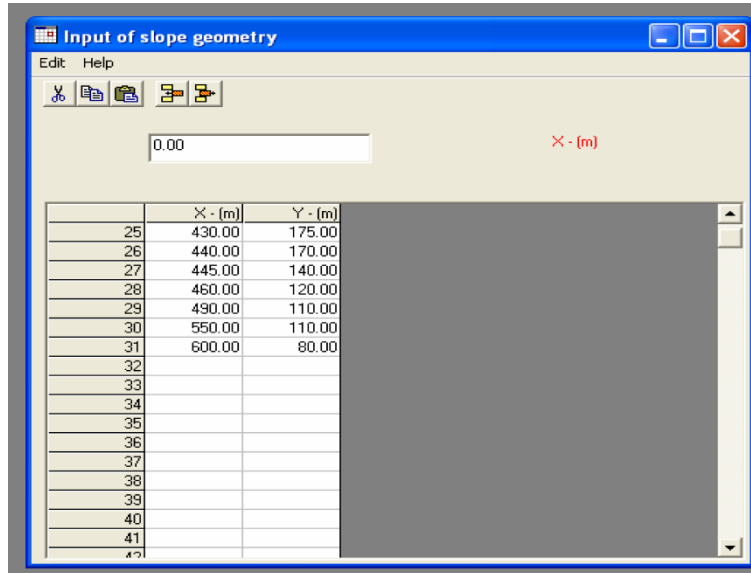


Figura 2.3 Ejemplo de esquema del talud-Rockfall 6.1  
Fuente:Jaime Suarez Diaz 2005

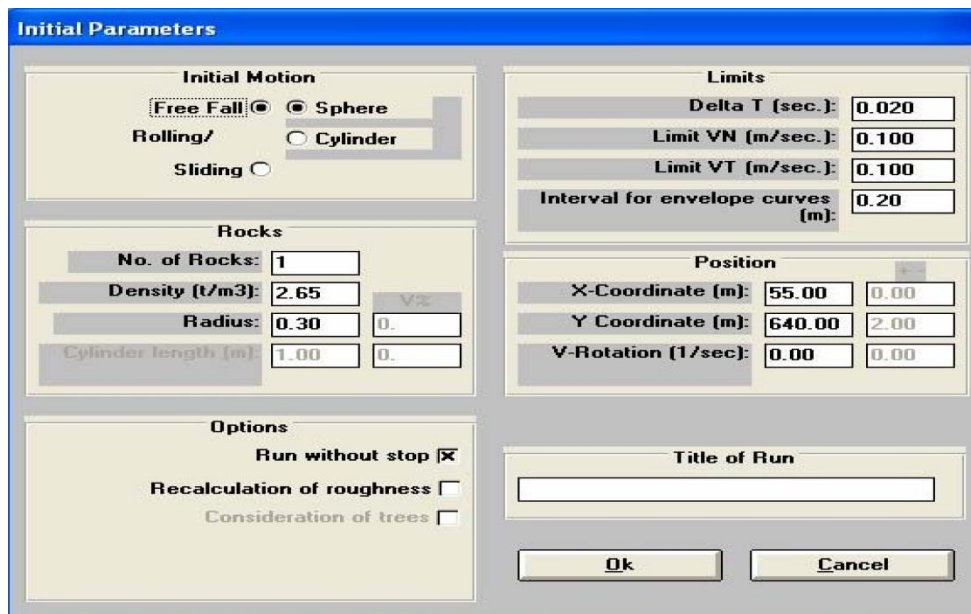


Figura 2.4. Ejemplo de esquema de ingreso de datos-Rockfall 6.1  
Fuente: Jaime Suarez Díaz 2005

El modelo numérico de la pendiente puede ser calculado a partir de una distribución arbitraria de puntos (X, Y, Z) transformados en una malla regular, o a través de la lectura directa de los valores de la cota en correspondencia con los nudos de la malla cuadrada que se utiliza en el modelo.

En el mercado se pueden encontrar programas que realizan la simulación del recorrido de un bloque de roca simplemente con introducir ciertos parámetros propios del talud, algunos softwares son de acceso gratuito, como ROCKFALL

#### **d. Análisis del impacto**

Para modelar las fuerzas de impacto en las estructuras es necesario realizar un análisis numérico, estas fuerzas de impacto van a ser los parámetros de diseño de los túneles falsos, dentro de la simulación se deben tener en cuenta cada uno de los elementos que conforman la estructura túnel falso, así como los materiales de cada elemento.

Se ha hecho un gran esfuerzo para reducir la energía de impacto colocando un material amortiguador sobre la placa del túnel y se han realizado varias pruebas tanto numéricas como de campo para establecer un modelo de diseño.

Los altos rangos de la energía de impacto de la roca son difíciles para modelar en la escala de laboratorio. Las pruebas de campo generalmente son evitadas por que traen consigo altos costos y en algunos casos por la dificultad de sus pruebas. (Jaime Suarez Diaz, 2005). Ver Figura 2.6.

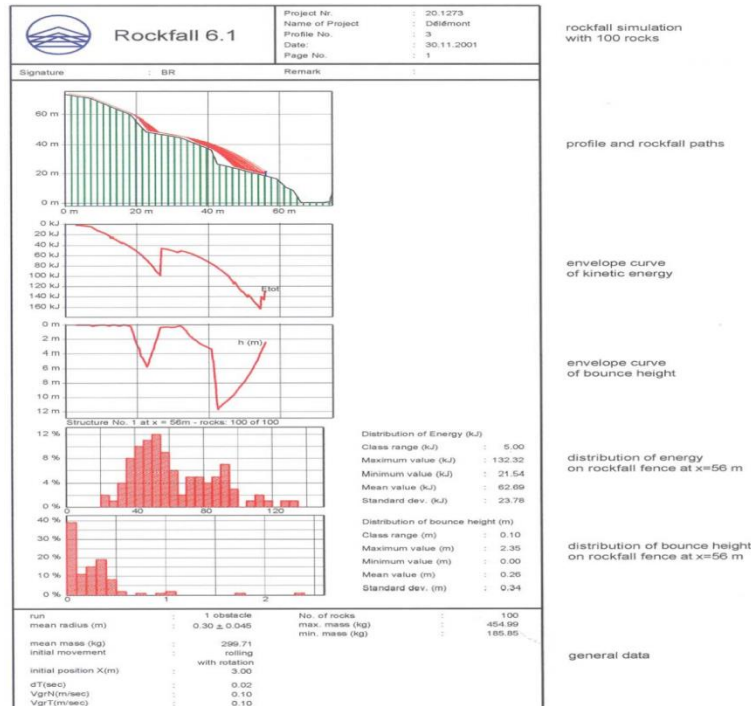


Figura 2.5 Ejemplo Salida de datos – Rockfall 6.1  
 Fuente: Jaime Suarez Díaz 2005

e. Mecánica de las caídas de roca

Las caídas de roca son generalmente iniciadas por algunos eventos climáticos y biológicos, que causan un cambio en las fuerzas actuantes en la roca. Estos eventos pueden incluir incremento en la presión de poros debido a la infiltración de la lluvia, erosión por arrastre del material durante las fuertes lluvias, degradación química o meteorización de la roca, crecimiento de las raíces de las plantas o el movimiento de las raíces por los fuertes vientos. En un ambiente de alta circulación vehicular el riesgo de que suceda un evento catastrófico debido a la caída de rocas es mayor y el potencial de ocurrencia se hace más probable que

por cualquier evento de los descritos anteriormente. Una vez el movimiento de una roca ubicada en la cima de un talud ha sido iniciado, el factor más importante que controla su trayectoria es la geometría del talud. En particular las caras de la superficie del talud, ya que estas pueden proporcionar a un componente horizontal al movimiento haciendo rebotar la roca. Ver Figura 2.7.

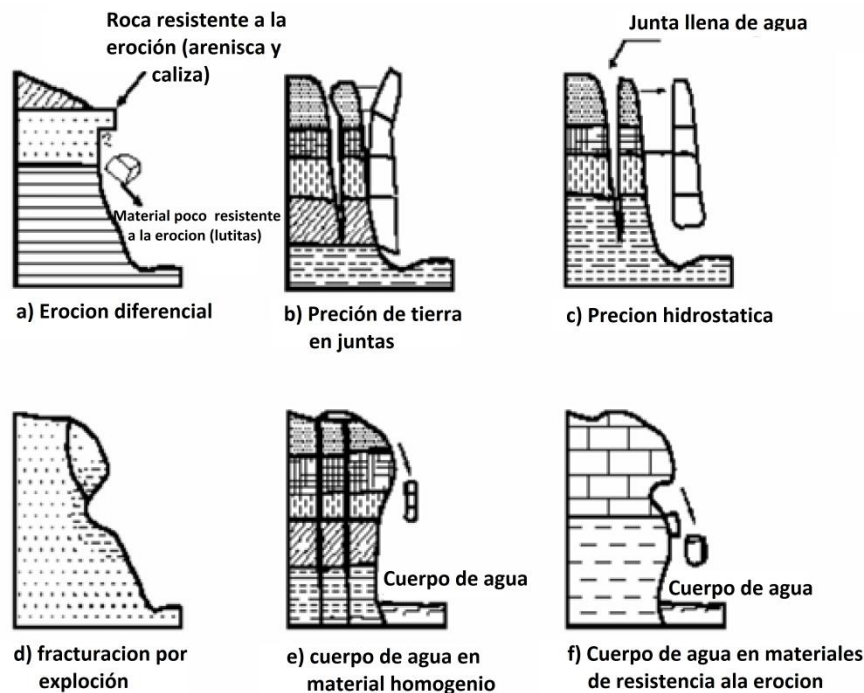


Figura 2.6 Estabilidad de taludes en zonas tropicales  
Fuente: Jaime Suárez

f. Índice de designación de la calidad de la roca (RQD)

Fue desarrollado por Deer (Deere et al., 1967) para promover un estimado cuantitativo de la calidad de la masa rocosa, a partir de los testigos de perforación diamantina. El RQD es definido como el porcentaje de piezas de testigos intactos mayores a 100 mm en la longitud total del testigo. El testigo deberá tener por lo menos un tamaño NX (54.7 mm de diámetro) y deberá ser perforado con un cilindro de doble tubo de perforación. Palstrom (1982) sugirió que, cuando los testigos no están disponibles pero las trazas de las



discontinuidades son visibles en afloramientos superficiales o en socavones exploratorios, el RQD puede ser estimado a partir del número de discontinuidades por unidad de volumen. (Hoek, 2000)

**g.** Sistema de clasificación RMR

Bieniawski (1976) publicó los detalles de una clasificación de la masa rocosa denominada sistema de clasificación Geomecánica o valoración de la masa rocosa RMR (Rock Mass Rating). A través de los años, este sistema ha sido modificado sucesivamente conforme han ido examinando más casos registrados, y se advierte al lector que Bieniawski hizo cambios significativos en las valoraciones asignadas a los diferentes parámetros. Los siguientes seis parámetros son usados para clasificar una masa rocosa con el sistema RMR.

1. Resistencia compresiva uniaxial del material rocoso.
2. Designación de la calidad de la roca (RQD).
3. Espaciamiento de las discontinuidades.
4. Condición de las discontinuidades.
5. Condiciones del agua subterránea.
6. Orientación de las discontinuidades.

El RMR; se obtiene como la suma de puntuaciones que corresponde a los valores de cada uno de los 06 parámetros enunciados. El valor del RMR oscila sus valores entre 0 y 100, y es mayor y mejor la calidad de la roca. Ver Cuadro 2.1

Bieniawski distingue cinco tipos o clases de roca según el valor RMR.

Cuadro 2.1

Clasificación RMR 89 (en uso actual)

CLASIFICACIÓN	RMR	TIPO DE ROCA
Clase I	>80	Roca muy buena
Clase II	80 – 60	Roca buena
Clase III	60 – 40	Roca media
Clase IV	40 – 20	Roca mala
Clase V	< 20	Roca muy mala

Fuente: Bieniawski (1989).

**h. Presencia de agua.**

Ofrece tres posibles criterios de valoración:

- Estado general.
- Caudal cada 10 metros de túnel.
- Relación entre la presión de agua y la tensión principal mayor en la roca.

**i. Orientación de las juntas.**

Está en función del buzamiento de la familia de diaclasas y su rumbo en relación con el eje del túnel (paralelo o perpendicular) se establece una clasificación de discontinuidad en cinco tipos: Desde muy favorable hasta muy desfavorable. Según el tipo se aplica la puntuación especificada en tablas.

Para cada clase de roca, Bieniawski, propone una cuantía de sostenimiento y con método de excavación. Esta tabla es aplicable a túneles excavados en roca mediante perforación y voladura, con anchura o vano comprendido entre 5 y 10 metros. Ver Cuadro 2.2, 2.3, 2.4, 2.5 y 2.6.

Cuadro 2.2

Clasificación geomecánica de Bieniawski (1979) parámetros de clasificación

Resistencia de la roca sana.	Ensayo carga puntual	>10	4-10	2-4	1-2		
(MPa)	Compresión simple	>250	100-250	50-100	25-50	1	0
						-5	1
						2	
						5	
Valoración		15	12	7	4	1	0
RQD		90-100	75-90	50-73	25-50	<25	
Valoración		20	17	13	8	3	
Separación juntas		>2m	0.6-2m	0.2-0.6m	0.06-0.2m	<0.06m	
Valoración		20	15	10	8	5	
Estado diaclasas	Muy rugosas	Ligeramente rugosas	Ligeramente rugosas	Rellenos e<5mm	Rellenos blandos		
	Discontinuas	e < 1mm	e<1mm	Abiertas continuas	e > 5 mm		
	Borde sano y duro	Borde duro	Bordes blandos		Continuas		
Valoración		30	25	20	10	0	
Presencia de agua	Caudal en 10 tonel.	Nulo	<10 l/min	10-25 L/min	25-125 L/min	>125 L/min	
	$\sigma_v/\sigma_3$	0	0-0.1	0.1-0.2	0.2-0.5	>0.5	

Estado	Seco	Ligeram ente húmedo	Húmedo	Goteando	Fluyendo
Valoración	15	10	7	4	0

Fuente: Bieniawski 1979.

Cuadro 2.3

Clasificación geomecánica de Bieniawski (1979): corrección por orientación juntas.

Dirección y buzamiento		Muy favorable	Favorable	Medio	Desfavorable	Muy desfavorable
Valoración para	Túneles	0	-2	-5	-10	-12
	Cimentaciones	0	-2	-7	-15	-25
	Taludes	0	-5	-25	-50	-60

Fuente: Bieniawski 1979.

Cuadro 2.4

Clasificación geomecánica de Bieniawski: orientación de las diaclasas

Dirección perpendicular al eje del túnel		Dirección paralela al eje del túnel		Buzamiento 0-20° Cualquier dirección	
Exc. a favor buzamiento	Exc. contra buzamiento	Exc. a favor buzamiento	Exc. contra buzamiento		
Buz >45°	Buzamiento 20-45°	Buz >45°	Buzamiento 20-45°	Muy favorable	Desfavorable
Muy favorable	Favorable	Muy desfavorable	Desfavorable	Muy desfavorable	Desfavorable

Fuente: Bieniawski 1979.

Cuadro 2.5

Clasificación geomecánica de Bieniawski y característica

Clase	I	II	III	IV	V
Calidad	Muy buena	Buena	Media	Mala	Muy mala
RMR	81-100	61-80	41-60	21-40	0-20
Tiempo de estabilidad y longitud de vano	10 años 5 metros	6 meses 8 metros	1 semana 5 metros	10 horas 2.5 metros	30 minutos 1 metro
Cohesión (MPa)	>0.4	0.3-0.4	0.2-0.3	0.1-0.2	<0.1
Buzamiento	>45°	35-45°	25-35°	15-25°	15°

Fuente: Bieniawski 1979

Cuadro 2.6

Clasificación geomecánica de Bieniawski estado de las discontinuidades

Parámetro	Valoración				
Persistencia	<1m	1-3m	3-10m	10-20m	>20m
	6	4	2	1	0
Apertura	Nada	<0.1 mm	0.1-1.0 mm	1-5 mm	>5 mm
	6	5	4	1	0
Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente Rugosa	Ondulada	Suave

---

	6	5	3	1	0
Relleno	Ninguno	Relleno duro		Relleno blando	
		<5 mm	>5 mm	<5 mm	>5 mm
	6	4	2	2	0
Alteración	Inalterado	Ligerament e alterado	Moderadam ente alterado	Muy alterado	Descompuesto
	6	5	3	1	0

---

Fuente: Bieniawski 1979.

**j.** Tramificación geotécnica.

La tramificación geotécnica, consiste en dividir la longitud a estudiar en partes, a cada uno de ellos se asigna una de las categorías de RMR o Q, o ambos; estas divisiones se realizan según los que se estima de acuerdo con los estudios geomecánicas en sondeos, afloramiento o extrapolaciones de labores cercanos, etc.

**k.** Levantamientos geotécnicos.

Aplicables a cualquier tipo de labores mediante el NATM y en el seguimiento de toda obra subterránea es necesario realizar un control geotécnico mediante inspección directo del terreno dicho control se lleva a cabo por personal especializado que actuará en pie de obra y el control geotécnico tiene como objetivo:

- Valorar las condiciones geotécnicas del terreno recopilando y registrando los datos obtenidos.
- Relacionar estos datos con los procedentes de la auscultación y ensayos realizados.

Al especialista, situado al pie de obra, realizará en cada avance la inspección, que le permitirá caracterizar el terreno que se excava. Con el fin de facilitar la labor del especialista el seguimiento correcto del control geotécnico, la caracterización del macizo rocoso se recogerá en las fechas donde se indicará:

- La geología observada en el contorno de la excavación y en el frente o fondo.
- El tipo de roca que se observa.
- Su densidad aproximada.
- Grado de meteorización.
- Presencia de agua.
- Orientación esparcimiento y estado de discontinuidades.
- RQD.

Teniendo la información, determinará los índices Q y RMR, caracterizando de esta forma la calidad geomecánica del macizo rocoso y el Ingeniero Supervisor por tanto, en base a los datos reales del frente irá escogiendo la calidad para tomar en consideración las mejoras u otro orden de consideraciones de seguridad o durabilidad del terreno complementando, el monitoreo y protocolo, las deformaciones, movimientos del macizo rocoso, cintas de convergencias, células de presión y verificación del proyecto, considerando las tolerancias.

## I. Sistema GSI.

El parámetro GSI (Geological Strength Index) se crea para caracterizar el macizo rocoso, según el criterio de rotura de Hoek y Brown, no para clasificar el terreno para el sostenimiento y por lo tanto no es una clasificación geomecánica:

- GSI, no tiene en cuenta la corrección por orientación de la excavación, que se tiene en consideración el RMR sobre el RMR básico.
- GSI, no hay ninguna recomendación en función del tipo de excavación, que si figura en el RMR y en Q.
- GSI, por aparición de agua, considera el mismo procedimiento.

Dada la simplicidad para trabajar con el cuadro GSI, se ha popularizado enormemente en labores mineras de gran envergadura.

Lo que se indica es de nuevo que el GSI no es una clasificación geomecánica o geotécnica si no un cuadro de apreciaciones del terreno de manera directa a un sostenimiento natural o artificial. Como se trata de una tabla “verbal” y son muy fáciles de aplicar en el entorno de una mina específica; estos cuadros son del tipo (RMR + Q).

No valdrán, para entornos distintos, para los que han sido objetivizados, tampoco en condiciones distintas de profundidad en donde aparecen fenómeno como el “Burts o Squeezing”, así la presencia de agua originará problemas de estabilidad, si hubiera un cambio radical en el tipo de roca GSI, no tiene en cuenta la resistencia de la roca, cuando este dado sea introducido en el entorno H-B; problemas de orientación de juntas y cuñas, techos planos, etc.



Según Hoek y Marinos (2000); ya no recomiendan correlacionar, sino determinar el GSI, independientemente de RMR y Q, mediante una lógica Fuzzy visual. Ver Cuadro 2.7.

Cuadro 2.7

Caracterización geomecánica del macizo rocoso modificada por Hoek y Marinos

<b>INDICE DE RESISTENCIA GEOLOGICA MACIZOS ROCOSOS FRACTURADOS</b> (Marinos & Hoek (2000))  Estime el valor típico de <i>GSI</i> considerando el tipo de roca, la estructura del macizo rocoso, y la condición de las discontinuidades.  NO trate de ser demasiado preciso. De hecho, el considerar $33 \leq GSI \leq 37$ es más realista que considerar $GSI = 35$ . Note que esta tabla NO es aplicable a problemas con control estructural. Si hay estructuras desfavorablemente orientadas, ellas controlarán el comportamiento del macizo rocoso.  En aquellos casos en que la resistencia al corte de las estructuras podría ser afectada por la humedad, deberá considerarse la eventual presencia de agua. Esto puede hacerse "desplazando hacia la derecha" el rango estimado para <i>GSI</i> .  La presión del agua no se considera al evaluar el rango de <i>GSI</i> ; ya que la misma se incorpora posteriormente en los análisis geotécnicos, los que se desarrollan considerando esfuerzos efectivos.		CONDICION DE LAS ESTRUCTURAS				
		MUY BUENA Muy rugosas, cajas frescas o no intemperizadas	BUENA Rugosas, cajas ligeramente intemperizadas y algo oxidadas.	REGULAR Lisas, cajas moderadamente intemperizadas y algo alteradas	MALA Pulidas, cajas meteorizadas, con pántinas o con rellenos y/o fragmentos angulosos	MUY MALA Pulidas, cajas muy meteorizadas, con pántinas o con rellenos de arcilla blanda
ESTRUCTURA DEL MACIZO		DISMINUYE LA CALIDAD				
	<b>INTACTA o MASIVA</b> Probetas de roca intacta. Macizos masivos o con pocas y muy espaciadas estructuras.	90			N/A	N/A
	<b>BLOCOSA</b> Macizos con 3 sets de estructuras, que definen bloques cúbicos, bien trabados entre sí.	80			50	40
	<b>MUY BLOCOSA</b> Macizos con 4 sets de estructuras, o más, que definen bloques angulosos y trabados, pero que están parcialmente perturbados.	70				30
	<b>BLOCOSA VETEADA</b> Macizos plegados y con bloques angulosos formados por la intersección de muchas estructuras. Los planos de estratificación y/o esquistosidad son persistentes.	60				20
	<b>DESINTEGRADA</b> Macizo fuertemente fracturado, con una mezcla de bloques angulosos y redondeados, pobremente trabados.					10
	<b>LAMINADA / CIZALLADA</b> Macizo con planos débiles (cizalle y/o esquistosidad), muy poco espaciados entre sí y que no definen bloques.	N/A	N/A			

Fuente: Hoek Marinos 2000.

### 2.3. Marco conceptual.

#### a. Matriz rocosa

Es el material rocoso exento de discontinuidades, o los bloques de roca intacta que quedan entre ellas. La matriz rocosa, a pesar de considerarse continua, presenta comportamiento heterogéneo y anisótropo ligado a su fábrica y a su microestructura mineral. (Gonzales de Vallejo, 2002).

#### b. Discontinuidad

Es cualquier plano de origen mecánico o sedimentario que independiza o separa los bloques de matriz rocosa en un macizo rocoso. (Gonzales de Vallejo, 2002).

Una discontinuidad es una superficie del macizo rocoso que está abierta o puede abrirse fácilmente a causa de tensiones inducidas por la excavación. Las superficies de discontinuidad aparecen durante la formación de la roca (planos de estratificación, laminación, foliación, disyunción, etc.) o posteriormente por causas tectónicas (esquistosidad, pizarrosidad y las fracturas: fallas y las diaclasas (estas últimas denominadas vulgarmente “juntas”. (Jorda Bordehore, 2013).

#### c. Orientación

Es la posición de la discontinuidad en el espacio y comúnmente es descrito por la dirección de buzamiento y el buzamiento de la línea de máxima pendiente en el plano de la discontinuidad. (Instituto Tecnológico GeoMinero de España, 1987).

## d. Espaciado

Es la distancia perpendicular entre discontinuidades adyacentes. Éste determina el tamaño de los bloques de roca intacta. Cuanto menos espaciado tengan, los bloques serán más pequeños y cuanto más espaciado tengan, los bloques serán más grandes. (Sociedad Nacional de Minería Petróleo y Energía, 2004).

## e. Persistencia

Este concepto hace referencia a la extensión o tamaño de las discontinuidades. Las dimensiones de una discontinuidad se pueden cuantificar observando su longitud en los afloramientos en la dirección del rumbo y en la dirección del buzamiento. (Ramirez Oyanguren & Alejano Monge, 2007).

## f. Rugosidad

Conjunto de irregularidades de diferentes órdenes de magnitud (asperezas, ondulaciones), que componen la superficie de las paredes de la discontinuidad. (Instituto Tecnológico GeoMinero de España, 1987).

## g. Apertura

Se define apertura como la distancia perpendicular que separa las paredes adyacentes de roca de una discontinuidad, cuando este espacio intermedio tiene agua o aire. En esto se distingue la apertura del espesor de relleno. (Ramirez Oyanguren & Alejano Monge, 2007).

## h. Relleno

Son los materiales que se encuentran dentro de la discontinuidad. Cuando los materiales son suaves, la masa rocosa es menos competente y cuando éstos son más duros, ésta es más competente. (Sociedad Nacional de Minería Petróleo y Energía, 2004).

## i. Agua

La presencia de agua subterránea es de suma importancia en la estabilidad e taludes por ende en la clasificación de macizo rocoso en las cuales puede estar seco, ligeramente húmedo, húmedo, goteando y fluyendo. Generalmente, la circulación de agua en los macizos rocosos se realiza a lo largo de las discontinuidades (permeabilidad secundaria), excepto en las rocas sedimentarias con un alto índice de poros, en las cuales el agua circula por la propia roca (permeabilidad primaria). (Ramirez Oyanguren & Alejano Monge, 2007).

## j. Construcción

Para el establecimiento de las especificaciones de construcción se ha tomado como base el informe que establecieron los diseñadores del túnel falso del cerro de San Pablo elaborado por la firma Geotecnología Ltda.

Se desarrolló un modelo numérico del problema de caída de rocas sobre falsos túneles, con el que se pudo predecir con buena aproximación la respuesta del sistema de protección “losa de concreto capa de material granular disipador” ante el impacto de un bloque de roca. (, 2004).

## k. mezclas

El proporcionamiento de mezclas de concreto, mas comúnmente llamado diseño de mezclas es un proceso que consiste de pasos dependientes entre si:

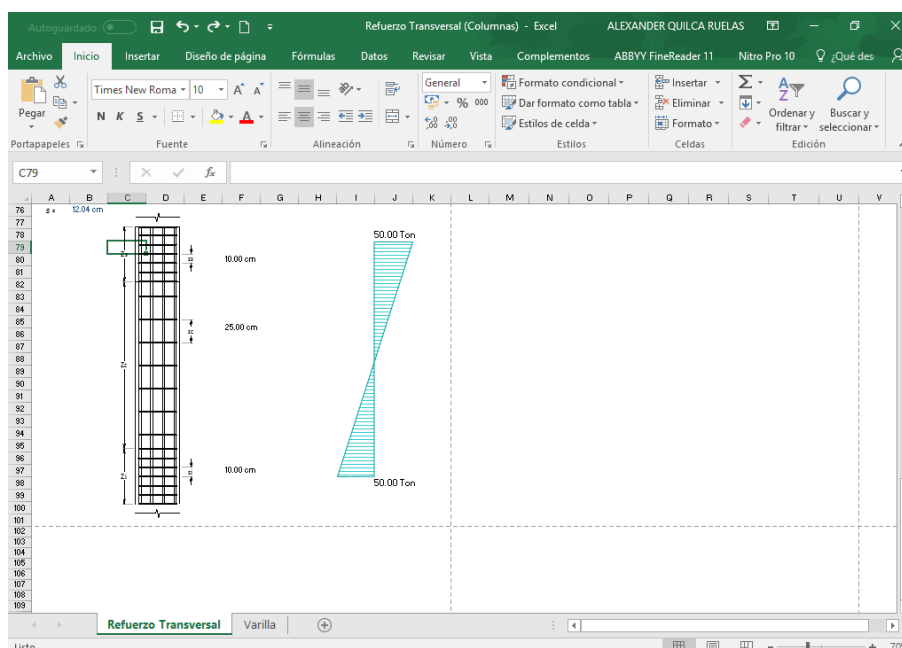
a) Selección de los ingredientes convenientes (cemento, agregados, agua y aditivos).

b) Determinación de sus cantidades relativas “proporcionamiento” para producir un, tan económico como sea posible, un concreto de trabajabilidad, resistencia a compresión y durabilidad apropiada.

Estas proporciones dependerán de cada ingrediente en particular los cuales a su vez dependerán de la aplicación particular del concreto. También podrían ser considerados otros criterios, tales como minimizar la contracción y el asentamiento o ambientes químicos especiales. (Pasquel Carbajal, Enrique. *Tópicos de Tecnología del Concreto en el Perú*. Colegio de Ingenieros del Perú – Consejo Nacional. 1998).

1. Aceros. Ver Cuadro 2.8

Cuadro 2.8  
Hoja Exel para cálculo de aceros



Cuadro de Axel para cálculos de resistencia ver en Anexo D

m. Factor de seguridad

El Factor de Seguridad es una medida determinista de la relación entre las fuerzas de resistencia (capacidad) y las fuerzas impulsoras (demanda) del sistema en su entorno considerado. El factor seguridad es el criterio más básico de diseño aceptado en la ingeniería. En geomecánica saltó a la fama a mediados

del siglo 20, cuando la ingeniería geotécnica se desarrolló como una disciplina de ingeniería independiente. En 1940. (Read & Stacey, 2009).

n. Probabilidad de falla

La probabilidad de fallo (P.F.) se ha convertido cada vez más utilizado como criterio de aceptación durante los últimos 35 años, aunque con diversos grados de entusiasmo y escepticismo. Durante sus conferencias de 1982 Terzaghi, Whitman (1983) eran de la opinión de que la teoría de probabilidades fue considerada por la duda o incluso la sospecha por la mayoría de los ingenieros geotécnicos. Las actitudes han cambiado y el uso de la probabilidad de fallo como criterio de diseño se ha fortalecido. (Read & Stacey, 2009).

### **2.2.1 Hipótesis de la investigación.**

#### **2.2.1.1. Hipótesis general.**

Mediante el Análisis de los patrones estructurales del macizo rocoso se determinará la ocurrencia de caída de rocas, Tamaño de bloque, Altura de caída y Mecanismo de caída para determinar el diseño de falso túnel en el portal de acceso de la galería principal del Nv. 4853 de la minera minarva, U.M. Rinconada – Ananea

#### **2.2.1.2. Hipótesis específica**

- a. Caracterizar geomecánicamente el pie de talud del portal de acceso para la prevención de accidentes por caída de rocas en la minera Minarva U.M. La Rinconada
- b. Calcular el volumen máximo de la roca a desprenderse y determinar La altura de caída de talud

## CAPÍTULO III

### METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

#### 3.1 Metodología de la investigación

Consideramos a la presente investigación dentro del diseño metodológico descriptivo experimental y contempla los siguientes pasos.

- a. Revisión, recopilación y elaboración de información preliminar.
- b. Investigación de campo.
- c. Ensayos de laboratorio.
- d. Caracterización geotécnica
- e. Determinación de parámetros de resistencia
- f. Análisis de estabilidad

#### 3.2 Poblacion y muestra

##### 3.2.1 Población

Se considera como población al lugar donde se comprenden los componentes del túnel falso, siendo la Unidad Minera Productiva Ana María de la cooperativa minera Minarva, este comprende con 250 personales en operación, logística y administración teniendo como 95.5 % de confianza en operaciones y 4.5 % de probabilidad de error de una población de 35 mil habitantes. Ver Figura 3.1 y 3.2.



Figura 3.1 vista panorámica Google Earth Rinconada  
Fuente: Mina Minarva

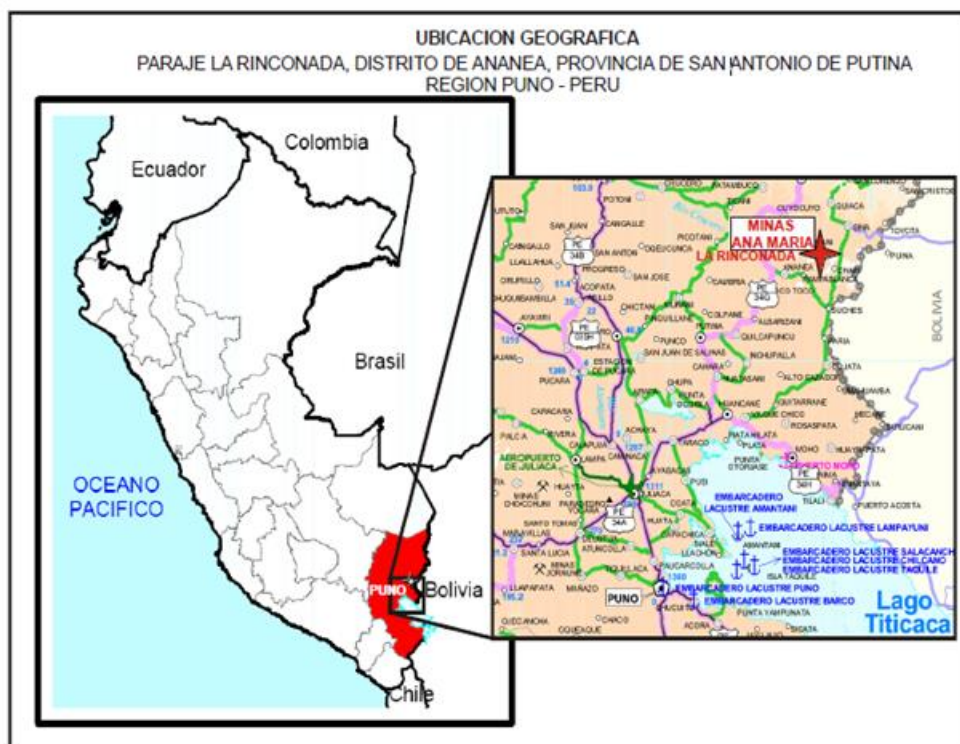


Figura 3.2 Plano de ubicación fuente DREM  
Fuente: Mina Minarva



### 3.2.2 Muestra

El cálculo del tamaño de la muestra es uno de los aspectos a concretar en las fases previas de la investigación comercial y determina el grado de credibilidad que concederemos a los resultados obtenidos.

Una fórmula muy extendida que orienta sobre el cálculo del tamaño de la muestra para datos globales es la siguiente:

$$n = \frac{K^2 x p x q x N}{(e^2 x (N - 1)) + K^2 x p x q}$$

**N:** es el tamaño de la población o universo (número total de posibles encuestados).

**k:** es una constante que depende del nivel de confianza que asignemos.

**e:** es el error muestral deseado.

**p:** es la proporción de individuos que poseen en la población y se suele suponer que  $p=q=0.5$  que es la opción más segura.

**q:** es la proporción de individuos que no poseen esa característica, es decir, es  $1-p$ .

**n:** es el tamaño de la muestra.

El nivel de confianza indica la probabilidad de que los resultados de nuestra investigación sean ciertos: un 95,5 % de confianza es lo mismo que decir que nos podemos equivocar con una probabilidad del 4,5%. Ver Cuadro 3.1, Figura 3.3 y 3.4.

Los valores k más utilizados y sus niveles de confianza son:

Cuadro 3.1  
Tabla de nivel de confianza

K	1.15	1.28	1.44	1.65	1.96	2	2.58
Nivel de confianza	75%	80%	85%	90%	95%	95.5%	99%

Valores de confianza de K más utilizados. Fuente:

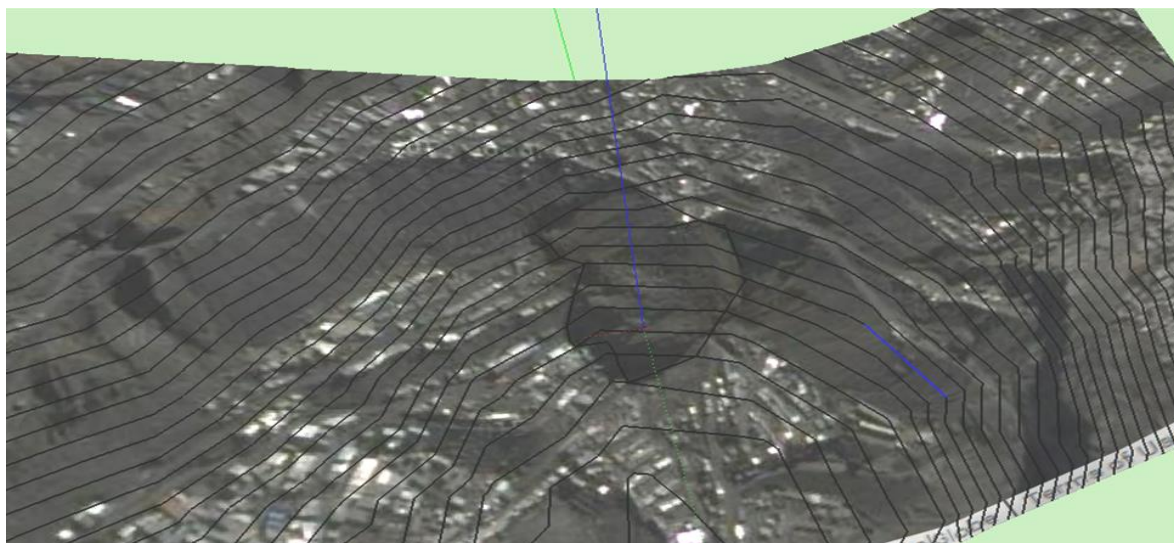


Figura 3.3 Curvas de nivel de cerro lunar modelado con SketchUp pro

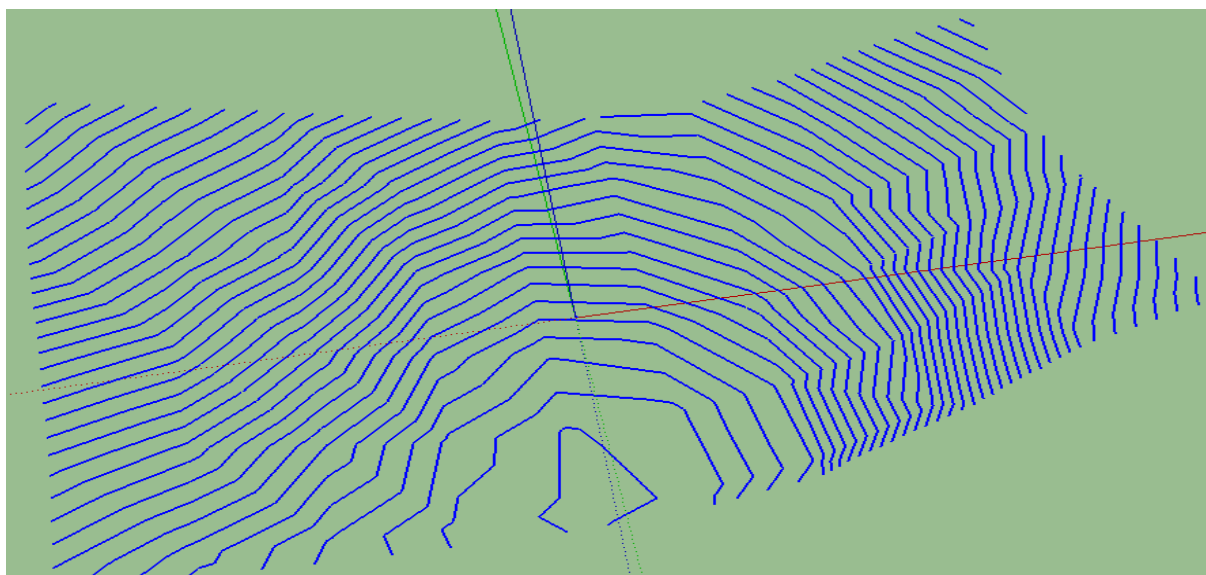


Figura 3.4 Curvas de nivel de cerro lunar modelado con SketchUp pro

### 3.3. Técnicas de investigación

Para la realización del falso túnel se realizó un mapeo geomecánico que se determinó en el laboratorio para tener en cuenta el tipo de roca el ángulo y la distancia luego calcularemos la masa de roca desprendida para calcular el volumen y el peso para el diseño del techo protector.

### 3.4. Operacionalización de variable

Es la forma de desintegrar la variable en sus indicadores e índices para poder realizar las mediciones y determinar su comportamiento en función a cada uno de los componentes.

#### 3.4.1. Identificación y clasificación de variables e indicadores.

La identificación y clasificación de variables, indicadores, ítems e índices se ha realizado de acuerdo al planteamiento de la hipótesis. Ver Cuadro 3.2.

Cuadro 3.2

Operacionalización de variables

Variable(s)	Indicador(es)	Índice(s)
V. D.	Caracterización Geomecánica	RMR, GSI.
V.D.	Estabilidad del talud del portal de acceso FS	Grados (°)
V.D.	Tamaño de bloques	TN/m <sup>3</sup>
V.I.	Características de la estructura que soporte las cargas generadas por la caída de rocas	kg/cm <sup>2</sup>
V.I.	Costos de operación	US\$/TM
V.I.	Altura de caída	m
V.I.	Disipación de esfuerzos	KN/m <sup>2</sup>

Fuente:Elaboración propia)

### **3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.**

#### **3.5.1. Técnicas de análisis de datos.**

Desde un punto de vista lógico, analizar significa descomponer un todo en sus partes constitutivas para su más concienzudo examen. La actividad opuesta y complementaria a esta es la síntesis, que consiste en explorar las relaciones entre las partes estudiadas y proceder a reconstruir la totalidad inicial. Lo dicho tiene aplicación directa en la metodología de investigación: Si nuestro objeto es siempre un objeto coherente por más que también pueda decirse que es parte de un todo mayor con sus propias leyes y su propia estructura interior, los datos, en tal sentido, no son más que los elementos que integran, las partes aisladas que solo cobran sentido por la síntesis que pueda integrarlos.

#### **3.5.1. Técnicas para el procesamiento de la información.**

La etapa propiamente dicha de la recolección de datos, que puede tener mayor o menor complejidad y duración. En ella se han aplicado los instrumentos a los objetos de estudio, lo que nos proporciona las informaciones que necesitamos, se han realizado la estructuración de la litología estructural del macizo rocoso, finalizadas las tareas de recolección, se ha consolidado un conjunto de mediciones que conforman el conjunto o número de datos de características lito estructurales, tales como las principales fallas, juntas orientaciones, persistencia, rugosidad, alteraciones o meteorización superficial por el intemperismo, características físico mecánica del suelo base. A partir de los cuales se han logrado las conclusiones generales que apunte a esclarecer el problema de la litología estructural.

### 3.5.2. Recolección de datos.

Recolectar los datos implica 3 actividades estrechamente vinculadas entre sí:

- Análisis y estrategias para la recolección de información como estudios en geomecánica y plasmar los resultados confiables estas herramientas de conocimientos nos ayudara a desarrollar una buena información.
- Aplicar este instrumento de información. Es decir, obtener las observaciones y mediciones de las variables que son de interés para nuestro estudio (medir variable).
- Prepara las mediciones obtenidas para que puedan analizarse correctamente (a esta actividad se le llama codificación de datos).

### 3.5.3. Recolección de datos primarios.

Siendo los datos primarios aquellos que surgen del contacto directo con la realidad empírica las técnicas encaminadas a recogerlos reflejarán, necesariamente, toda la compleja variedad de situación que se presentan en la vida real. Dentro de estas técnicas mencionaremos, en primer lugar, la observación, por ser fundamental en todos los campos de la ciencia que consiste en el uso sistemático de nuestros sentidos orientados a la captación de la realidad que queremos estudiar. A través de sus sentidos el hombre capta la realidad que lo rodea, que luego organiza intelectualmente, en el presente trabajo de investigación, se ha realizado la consolidación de datos de registro lineal de los componentes del botadero de desmonte 01 con aplicación de los conocimientos de ingeniería de rocas y la mecánica de suelos.

#### **3.5.4. Procesamiento de datos secundarios.**

Incluimos en este punto las operaciones que es necesario realizar con aquellos datos existentes que se puede o se quiere cuantificar, y que por lo tanto se pueden mantener en forma puramente cualitativa o cuantitativo por lo general, la mayoría de estas informaciones se ha recolectado el cual constituye una sólida base de datos que hace ver a la calidad del macizo rocoso y suelo, partimos, entonces, de una masa de datos donde se encuentra la información necesaria para desenvolver la información considerando estas informaciones la Empresa Titán cuenta con trabajos de geomecánica realizado por los especialistas del departamento de geología, todo el sistema de estos datos constituye datos secundarios a los cuales se recurrirá en los momentos requeridos en la investigación. Estos datos, sumados a la experiencia del investigador, han permitido desarrollar las respuestas a los interrogantes iniciales de la investigación y han servido, de un modo más limitado, para esclarecer ciertos puntos específicos de la caracterización del macizo rocoso y suelo, componentes del botadero de desmonte.

#### **3.5.5. La síntesis.**

Sintetizar es recomponer lo que el análisis a separado, integrar todas las conclusiones y análisis parciales en un conjunto coherente que cobra sentido pleno, precisamente, al integrarse como un todo único. La síntesis, es pues, la conclusión final, el resultado aparentemente simple pero que engloba dentro de sí a todo el cúmulo de apreciaciones que se han venido haciendo a lo largo del trabajo, con la síntesis e interpretación final de todos los datos ya analizados, puede decirse que concluye la investigación donde debe de quedar definido el comportamiento geomecánico del macizo rocoso y las características del suelo basal, es siempre una tarea una tarea inacabada que debe de continuar por fuerza en otras investigaciones concretas, es decir otras investigaciones sobre el comportamiento geotécnico con la aplicación de softwares especializado.

### **3.5.6. Codificación.**

La codificación es un procedimiento que tiene por objeto agrupar numéricamente los datos que se expresen en forma verbal y obtenida de las mediciones del macizo rocoso y el suelo basal, para poder luego operar con ellos considerando datos cualitativos y cuantitativos. Para lograrlo se abra de partir de un cúmulo de informaciones que tengan una mínima homogeneidad, condición necesaria para poder integrarlas que pueden elaborarse códigos, categorizando más o menos detalladamente las respuestas.

### **3.5.7. Tabulación.**

La palabra tabulación deriva etimológicamente del latín tabula, y significa hacer tablas, listados de datos que lo muestren agrupados y contabilizados. Para ello es preciso contar cada una de las respuestas que aparecen, distribuyéndolas de acuerdo con las categorías o códigos previamente definidos. La tabulación del presente trabajo es de

3.5Cm margen izquierdo

2.5Cm margen superior

2.5Cm margen inferior

2.5Cm margen derecho

### **3.5.8. Cuadros estadísticos.**

Para plasmar la información de la población y muestra de este proyecto se tendrá que evaluar con cuadros estadísticos

### **3.6. Gratificación.**

La gratificación es una actividad derivada de la anterior que consiste en expresar visualmente los valores numéricos que aparecen en los cuadros. Su objeto es permitir una comprensión global, rápida y directa, de la información que aparece en cifras. Es sumamente útil, especialmente cuando nos dirigimos a lectores con poca preparación matemática, aunque siempre es recomendable por el valor de síntesis que posee.

### **3.7. Consistencia.**

El presente trabajo de investigación representa la solides coherencia, estabilidad en la sistematización de los datos de campo de conformidad con lo que se ha planteado en el diseño de la investigación.

### **3.8. Requerimiento de equipo y software.**

Un instrumento de recolección de datos es, cualquier recurso de cual se vale el investigador para acercarse a los fenómenos y extraer de ellos información dentro de cada instrumento, puede distinguirse dos aspectos diferentes: forma y contenido. De este modo, el instrumento sintetiza en si todo el valor de la investigación: resume los aportes del marco teórico al seleccionar datos que corresponden a los indicadores y, por lo tanto, a las variables y conceptos utilizados, se han considerado los siguiente:

Campo.

- Brújula.
- Picota de geólogo.
- Flexómetro.
- Pinturas o marcadores.
- Clavos.
- Alcayatas.
- Regla de 5m.



- Rugosímetro.
- Equipos de Iluminación.
- Lampa y pico.
- Sacos de polipropileno.
- GPS
- Libreta geomecánica.
- Cámara fotográfica.
- Calculadora científica.

#### Gabinete.

- Una computadora o laptop.
- Impresoras Epson.
- Software AutoCAD 2014.
- Software Rocdata 3.0.
- Falsillas de Wulf y Schmitt.
- Software Dips 5.1, para análisis estructural.
- Equipo de corte directo.
- Prensa hidráulica para ensayos de compresión simple en roca.
- Equipo de tilt test-
- Horno temperado para el secado de muestras de suelo (+-100 °C)
- Microscopio.
- Extractor de muestras.
- Petrótomo.
- Vernier.
- Balanza (+-0.01g).

### **3.9. Caracterización del área de estudio.**

#### **3.9.1. Caracterización geológica.**

##### **3.9.1.1. Estratigrafía regional.**

En el presente Ítem se tratará de forma concreta la geología de las estructuras componentes de la Unidad Minera Minarva, emplazada en la concesión Ana María N° 3, tratándose este tema más a detalle en el estudio mismo.

La estratigrafía de la zona ha sido definida y descrita por el INGEMMET; quienes establecieron las bases estratigráficas de la región. Las unidades estratigráficas más representativas en el área datan de la era Paleozoica (Ordovícico, Siluriano Devoniano, Carbonífero y Permiano). El Mesozoico (Triásico) y el Cenozoico (Neógeno y Cuaternario).

En el área de explotación del proyecto Ana María N° 3 se desarrolla en un yacimiento estratiforme (mantos) de la Formación Ananea, las cuales son Pizarras de la Era Paleozoica y Periodo Siluro-Devoniano, y forman un monoclinal al entrar en contacto con las Pizarras de la Formación Sandia las cuales por acción orogénica subyacente a la Formación Ananea.

Los afloramientos de roca que se presentan en el proyecto varían de unos cuantos centímetros a varios metros de espesor entre capa y capa, pero la diferencia entre las Pizarras de la Formación Sandia y de la Formación Ananea, es que la primera es una formación de pizarras estériles o pizarra pura, en cuanto a las pizarras de la Formación Ananea presentan la mineralización tanto de mena como de ganga, y tiene una ligera variación en su composición lito estratigráfica de rocas metamórficas, en este caso aparte de la pizarra se encuentran hornfels y escasas siltitas y cuarcitas, lo cual lo diferencia de las rocas de la Formación Sandia.

**3.9.1.2. Estratigrafía local.**

**3.9.1.3. Geología local.**

Estaría representada de acuerdo con el Plano Geológico Local y bajo la siguiente descripción lito estratigráfica. Ver Figura 3.5.

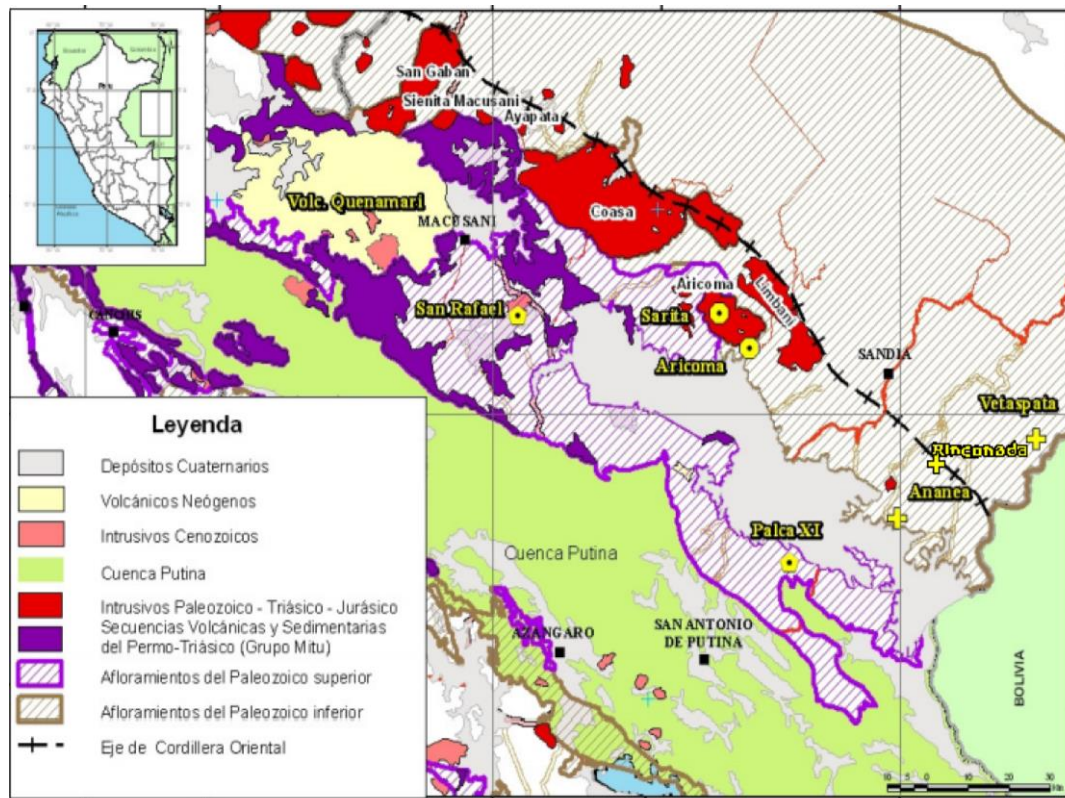


Figura 3.5 Ubicación de los depósitos de minerales y geología generalizada  
Fuente: Mina Minarva ver Anexo E

**a Formación Sandia.**

Definida de esta forma por Laubacher (1978) en el valle del río Sandia, en donde su litología desde la base empieza en una secuencia clástica, de areniscas finas, que gradúa a areniscas medias y gruesas, cuarcitas limolitas, limolitas pizarrosas y pizarras negras hacia los niveles superiores.

La presencia de pizarras negras y limolitas hacia la parte superior es lo que está superpuesto por orogénesis sobre la Formación Ananea, este contacto es anormal, realizado a través de un sobrescurrimento. Éstas son de color gris oscuro con ligeras tonalidades a marrón oscuro o café. Es sobre este tipo de pizarras en donde se asienta los diversos componentes superficiales del proyecto Ana María N° 3.

#### **b Formación Ananea.**

Fue denominada así por Laubacher (1978) en la cordillera Oriental y asignada por este mismo autor al Silúrico-Devónico (Laubacher 1974). Consiste en una gruesa serie de esquistos epimetamórficos. En el cuadrángulo de La Rinconada ocupa básicamente la parte central y constituye todas las estribaciones occidentales de la línea de altas cumbres de los nevados que forman la cordillera Oriental.

La litología de esta formación corresponde a una homogénea y monótona sucesión de pizarras en paquetes de 20 hasta 80 cm. Un fallamiento inverso muestra a la formación Sandia sobre la formación Ananea, mientras que el contacto con la formación suprayacente no se observa. Esta formación está afectada por una esquistocidad de flujo subparalela a la estratificación suroeste y también por el desarrollo de un microplegamiento en chevrón centimétrico; la dirección de sus ejes es N 105° E y con acortamiento noreste-suroeste. Esta esquistosidad y pequeños pliegues se presentan al costado de fallas, o en bloques limitados por fallas o fracturas.

- Espesor = +/- 800 metros.
- Rumbo = NW - SE 10° - 20°.
- Tamaño de grano = Medio a fino.
- Color = Gris oscuro a negro.
- Textura = varía de un lugar a otro.

- Variedad de roca = Pizarra silisificada-piritizada.
- Edad estimada = 415,000000 – 435,000000, años antes del presente.

### **c. Formación Arco Aja.**

Fue descrita inicialmente por Fornari et. al. (1981) en la quebrada Arco Aja afluente del río Tambillo. Se puede observar a dicha unidad al Suroeste del proyecto, sobre las pampas de Pampa Blanca y Chaquiminas. Está compuesta por estratos de arcilla (escasa) y grava en la parte inferior y estratos de grava con arena en la parte superior. Los elementos gruesos son cuarcitas y pizarras. Su disposición es en forma de lentes alargados que corresponden a paleocanales, cuyas direcciones se pueden reconocer gracias a la posición de los rodados. La formación ha sido ubicada en el Neógeno: Plioceno (Cenozoico: Terciario inferior). Aflora formando las pampas en el tramo Pampa Blanca-La Rinconada.

### **d. Depósitos morenitos.**

En ambos flancos de los nevados de la cordillera oriental, se encuentran extensas geoformas de morrenas originadas por la acumulación glaciaria, durante el proceso de glaciación y retroceso glaciario. Consisten en una mezcla de arcillas, arenas, gravas y bloques angulosos sin selección y ningún orden en particular. La textura es fina a gruesa inconsolidada que forman suelos profundos limosos. Formados a fines del periodo Terciario (plioceno) e inicio del periodo Cuaternario (pleistoceno), haciéndolo una formación geológica relativamente joven. En la zona del proyecto se los puede observar al Sur a unos 1.5 km. De distancia, dichos afloramientos constituyen una mínima parte y están como remanentes de las morrenas distales formadas en la serie del pleistoceno tardío por lo tanto no constituyen yacimientos

auríferos importantes como es en el caso de la zona de Trapiche, donde en la actualidad se viene realizando explotación de estos yacimientos.

**e. Depósitos aluviales.**

Son depósitos que están ampliamente distribuidos en el cuadrángulo de La Rinconada, sobre todos en las cuencas del Ramis y del Suches y de todas sus vertientes de las cuencas mencionadas. Hacia el Sur del cuadrángulo éstas yacen sobre la Formación Azángaro; en la zona del proyecto se le puede evidenciar a unos 2 km al sur del mismo, están depositados sobre la subcuenca del río Trapiche, de las lagunas Pararani y Lacayaqui. En algunos casos se encuentra entremezclados con los Depósitos de Deyección los cuales están localizados en los pies de las quebradas y paleo-quebradas y que generalmente traen consigo litoclastos de formaciones preexistentes. Ver Cuadro 3.3.

Cuadro 3.3

Columna estratigráfica

COLUMNA ESTRATIGRÁFICA						
YACIMIENTO AURIFERO "ANA MARIA" - MINAS LA RINCONADA						
ERATEMA	SISTEMA	SERIE	UNIDAD LITOSTRATIGRÁFICA	GROSOR mts.	LITOLOGIA	DESCRIPCIÓN
CENOZOICO	CUATERNARIO	HOLOCENO	DEPÓSITOS GLACIO FLUVIALES			conglomerados sub-redondeados
			DEPOSITOS MORRENICOS	60		Morrenas y gravas subangulosas litológicamente heterogeneas
	PLEISTOCENO	DEPÓSITOS GLACIO - FLUVIALES	30		gravas subredondeadas y subangulosas, lutitas y siltitas conglomeradas	
	NEOGENO	PLIOCENO	FORMACIÓN ARCO AJA	50		conglomerados poco consolidados intercalados con lodolitas
PALEOZOICO	DEVONIANO		FORMACIÓN ANAENA	800		pizarras gris oscuras con características laminares, niveles pelíticos micaceos y delgados, abundantes juntas desordenadas. Capas de areniscas cuarzosas
	ORDOVICICO	SUPERIOR	CARADOCIANO	FORMACIÓN SANDIA	1,500	
	INFERIOR	LLANVIRNIANO				secuencias de pizarras con características laminares, intercaladas con limoarcillas, probablemente del grupo San Jose

Fuente: Geología de los Cuadrángulos de Putina y La Rinconada – INGEMMET (2000).

## CAPÍTULO IV

### ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

#### 4.1. Caracterización de la geología estructural.

La zona de emplazamiento de la concesión de Ana María ha sido afectada por el tectonismo eohercínico, del tipo intercontinental, con una fase comprensiva y que siguió a un régimen de distensión en el Ordovícico – Silúrico – Devoniano. La tectónica en la zona de estudio juega un papel muy importante en cuanto a la concentración de oro libre en los mantos.

- a. **Fallamiento.** - el fallamiento en la zona está relacionado a un periodo Permo-Triásico, consecuentemente con fallas preminerales. Siendo las fallas de control de la zona mineralizada; las que se orientan en dirección NW – SE
- b. **Plegamiento.** - en la zona se observa flexuras a manera de micro anticlinales y sinclinales, los cuales son el producto de fuerte movimientos horizontales gran parte de estos plegamientos con rumbos NW–SE consecuentemente al plegamiento andino.
- c. **Diaclasamiento.** - los estratos han sido afectado por este fenómeno observándose en superficie e interior mina estas fracturas están con direcciones N–S y E–W. Predominantemente. En interior mina se observa a manera de enrejados de forma irregular.



En los siguientes capítulos se tratará más al detalle el tema estructural de la zona base del botadero de desmonte 01, y de las zonas circundantes a dicha zona.

#### **4.2. Caracterización geomecánica.**

De acuerdo a los requerimientos de la presente investigación. Será necesario una caracterización geomecánica del talud superior a la bocamina de acceso principal del Nv 4853 de la empresa minera Minarva Ananea.

Con esta premisa, a continuación, se presentan los lineamientos que se siguieron para realizar la mencionada caracterización:

Se ha utilizado la siguiente metodología:

- Levantamiento topográfico detallado.
- Generación del modelo geológico
- Estimación de los parámetros de resistencia.
- Generación de la sección longitudinal del talud.

#### **4.3. Levantamiento topográfico.**

Se realizó el trabajo con la ayuda del área de topografía de la empresa Minarva que se tomaron varios puntos para realizar el levantamiento topográfico y constatar con la fuente de la Corporación Minera Ananea. Ver Figura 4.1 y 4.2.

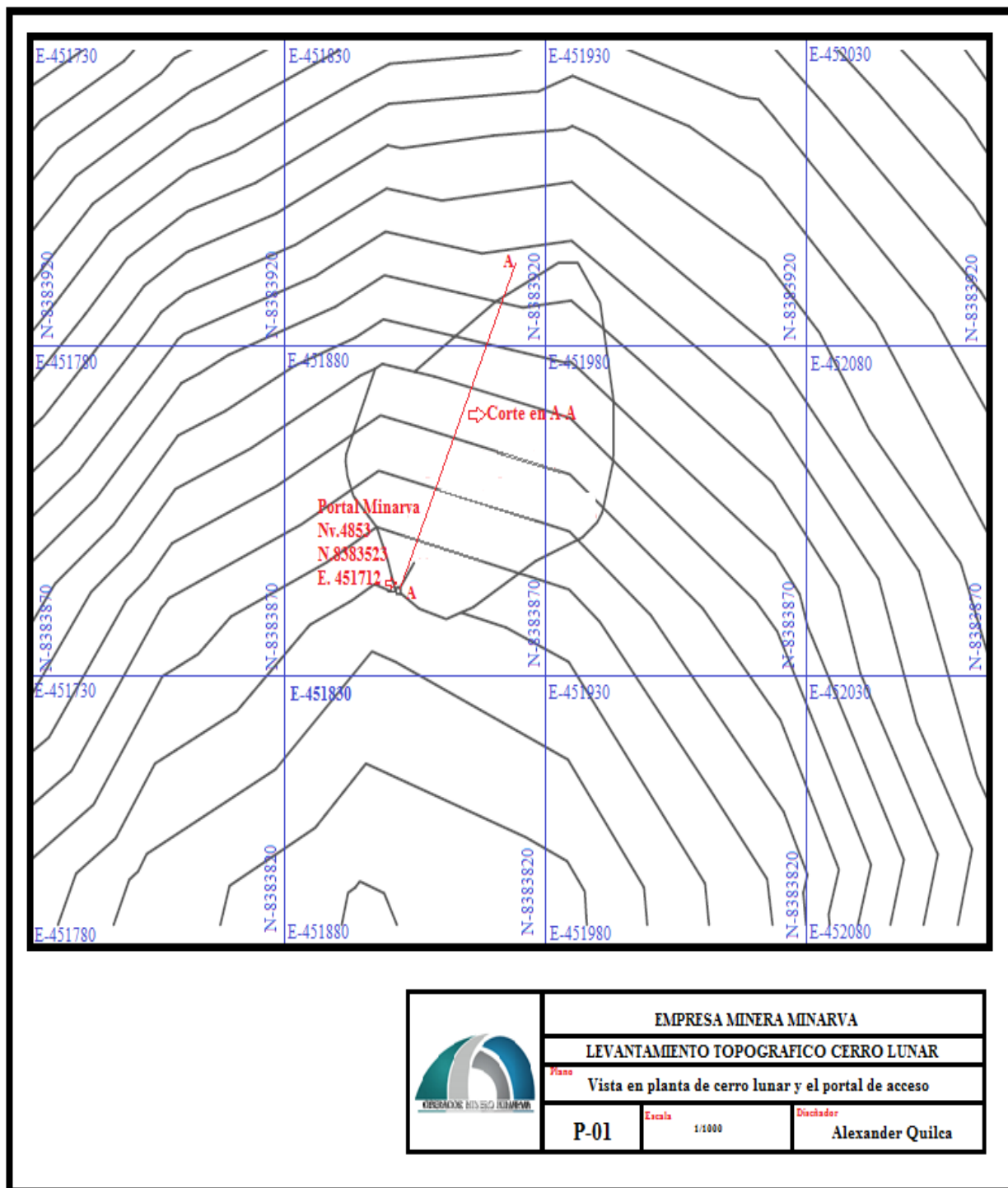


Figura 4.1 Curvas de nivel vista en planta en corte A en A.  
Fuente: Mina Minarva ver Anexo E

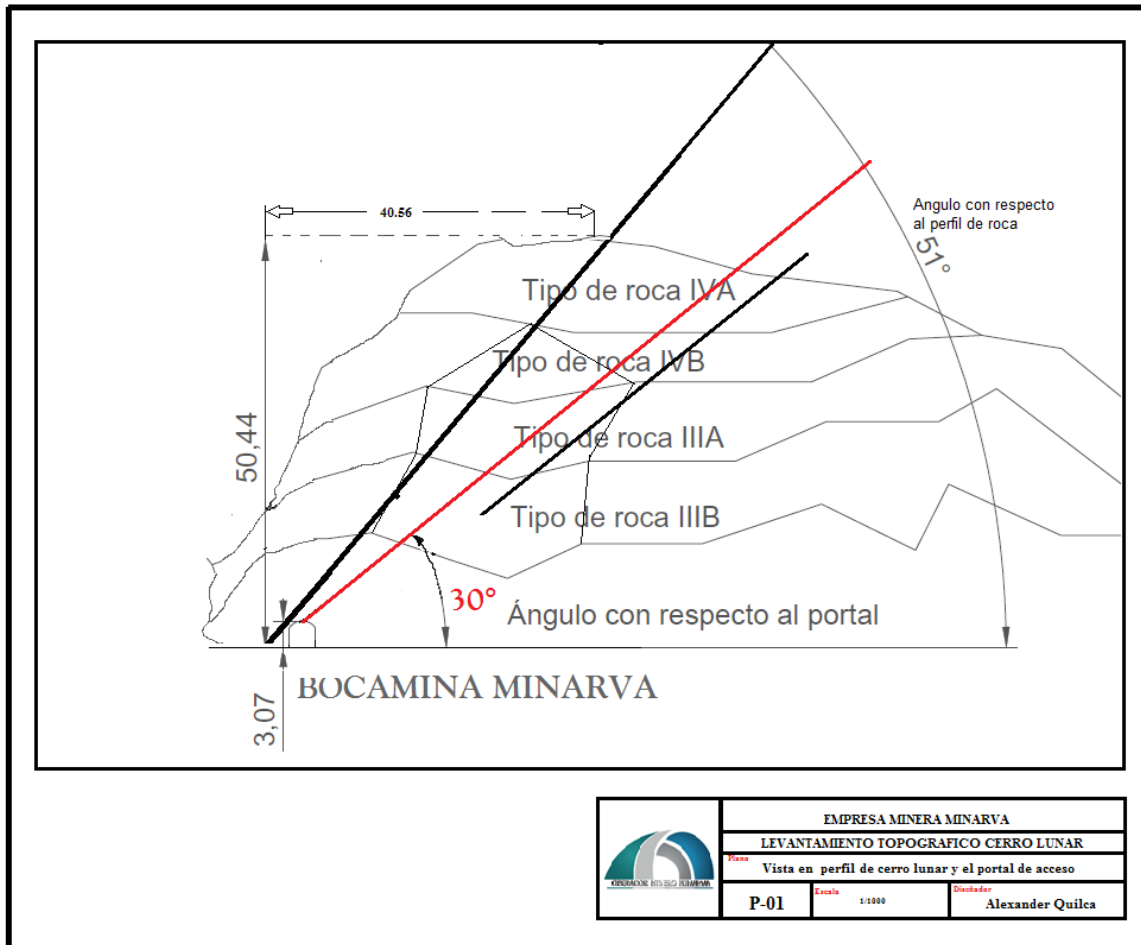


Figura 4.2 curvas de nivel vista de perfil y ángulo con respecto a la roca.  
Fuente: elaboración propia

a. Generación del modelo geológico.

La litología de esta formación corresponde a una homogénea y monótona sucesión de pizarras en paquetes de 20 hasta 80 cm. Un fallamiento inverso muestra a la formación Sandía sobre la formación Ananea, mientras que el contacto con la formación suprayacente no se observa. Esta formación está afectada por una esquistocidad de flujo subparalela a la estratificación suroeste y también por el desarrollo de un microplegamiento en chevrón centimétrico; la dirección de sus ejes es N 105° E y con acortamiento noreste-suroeste. Esta esquistosidad y pequeños pliegues se presentan al costado de fallas, o en bloques limitados por fallas o fracturas.

b. Generación del modelo geomecánico.

Con la finalidad de poder clasificar geomecánicamente según Bieniawski y Hoek, para determinar las propiedades de resistencia del macizo rocoso que conforme al macizo rocoso que compone el talud, se ha tomado estaciones geomecánicas donde se ha evaluado las siguientes propiedades del macizo:

- Resistencia a la compresión simple de la roca intacta.
- Resistencia a la compresión simple de las discontinuidades.
- RQD.
- Espaciado.
- Persistencia.
- Rugosidad.
- Alteración de la roca intacta.
- Alteración de las discontinuidades.
- Presencia de agua.

En total se han realizado 07 estaciones geomecánicas, y en cada una de ellas, clasificándolas con la ayuda del  $RMR_{76}$  y GSI. Se identifican la ubicación de cada una con las coordenadas que se presentado en el Anexo de Valoración Geomecánica y se presenta el siguiente cuadro de resumen de resultados de dicho trabajo: Ver Cuadro 4.1.

Cuadro 4.1

Identificación de las estaciones geomecánicas realizadas

Ubicación	COORDENADAS		RMR	GSI
	Norte	Este		
Estación Geotécnica 1	8383466	451718	45.5	40.5
Estación Geotécnica 2	8383472	451724	45.5	40.5
Estación Geotécnica 3	8383479	451731	45.5	40.5
Estación Geotécnica 4	8383487	451739	65	60
Estación Geotécnica 5	8383494	451744	65	60
Estación Geotécnica 6	8383500	451751	65	60
Estación Geotécnica 7	8383504	451756	65	60

Fuente: Estaciones geomecánicas, elaboración propia ver Anexo B

#### 4.4. Ensayos de laboratorio.

##### a. Ensayos estándar.

Con las muestras alteradas obtenidas de las calicatas, se realizaron ensayos estándar de clasificación de suelos y de propiedades físicas que consisten en: análisis granulométrico por tamizado, límites de Atterberg (líquido y plástico) y contenido de humedad.

Los ensayos se ejecutaron siguiendo las normas de la *American Society For Testing and Materials* (ASTM), para finalmente clasificar dicho suelo por el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS). Las normas para estos ensayos son las siguientes:

- Gravedad específica y Absorción de la Roca: ASTM D 6473-99.
- Ensayo de resistencia a la compresión simple de núcleos de roca: ISRM, ASTM C 42-92, ASTM D 5731-02

**b. Gravedad específica y absorción de la roca.**

- Gravedad específica. - relación entre la masa (o peso en el aire) de una unidad de volumen de un material a la masa del mismo volumen de agua a una temperatura indicada. Los valores son adimensionales concepto.
- Absorción de roca. -Aumento en el peso de los agregados debido al agua en los poros del material, pero sin incluir el agua adherida a la superficie exterior de las partículas, expresado como un porcentaje del peso seco. Ver Cuadro 4.2, 4.3 y 4.4.

Cuadro 4.2

Gravedad específica y absorción de la roca

	Resultados
Gravedad especifica nominal	2.78
Gravedad especifica nominal (s.s.s.)	2.79
Gravedad Especifica Aparente	2.81
Absorción (%)	0.31
Densidad de la roca (g/cm <sup>3</sup> )	2.63
Densidad de la roca seca (g/cm <sup>3</sup> )	2.71

Los resultados del presente cuadro se presentan en el Anexo A de Resultados de Laboratorio. Fuente: elaboración propia.

**c. Ensayos de resistencia a la compresión simple.**

Es una herramienta importante en la caracterización de un macizo rocoso para determinar los factores como porosidad, la meteorización y la humedad presente en la muestra hacen que haya una gran dispersión en los datos arrojados por el ensayo y obtener la constante elástica y la relación de Poisson del macizo rocoso.

Cuadro 4.3

Resultados de laboratorio

	M-01	M-02	M-03	M-04
Diámetro del testigo ( $cm^2$ )	3.81	3.81	3.81	3.81
Área superior de testigo ( $cm$ )	7.61	7.63	7.62	7.61
Altura del testigo ( $cm$ )	11.40	11.40	11.40	11.40
Relación de esbeltez	0.501	0.499	0.500	0.501
Carga máxima aplicada ( $kg-f$ )	8230	9340	8600	9200
Resistencia a la Compresión Simple $\sigma_c$ ( $kg-f/cm^2$ )	721.87	819.23	754.33	806.95
Resistencia a la Compresión Simple $\sigma_c$ ( $MPa$ )	70.79	80.34	73.97	79.14
Promedio $\sigma_c$ ( $MPa$ )	76.06			

Los resultados del presente cuadro se presentan en el Anexo A de Resultados de Laboratorio. Fuente: elaboración propia.

Cuadro 4.4

Resumen de los ensayos

Componente	Sondeo	Tipo de Roca	Gs	Contenido de Humedad (%)	Densidad Relativa ( $g/cm^3$ )
Talud 01	C – 1	Pizarra gris oscura	2,8	19,70	2,72
	C – 2				
	C – 3				
Estación Geotécnica	EG – 1	Pizarra gris rojiza alterada	2,8	17,48	2,75
	EG – 2				

Los resultados del presente cuadro se presentan en el Anexo A de Resultados de Laboratorio. Fuente: elaboración propia.

d. Estimación de los parámetros de resistencia.

➤ Criterio de análisis.

Actualmente el método de análisis de estabilidad más utilizado en nuestro medio es el método del equilibrio límite, el cual considera una superficie de falla que puede ser planar o volcamiento y divide esta superficie en varias zonas, de acuerdo a los levantamientos geomecánicos que se muestran a continuación, donde en cada una de estas, se determina las fuerzas solicitantes y las fuerzas resistentes para compararlas y obtener un factor de

seguridad real en el presente capítulo se exponen los criterios utilizados en asegurar la estabilidad física de los componentes estudiados, utilizando para el análisis de la estabilidad estática y pseudoestático el método del equilibrio límite (mel), con el modelo de Bishop y Spencer.

El análisis por el método de equilibrio al límite se ha realizado utilizando el programa de cómputo phase2 de rocscience, cuya licencia la posee la facultad de ingeniería de minas de la una puno.

e. Condición de análisis.

➤ Análisis estructural de modo de falla.

De acuerdo con la disposición estructurales en los taludes de corte, es que se utilizó el programa estereográfico dips 6.0, cuya licencia la posee la facultad de ingeniería de minas de la universidad nacional del altiplano y se presenta a continuación los estereogramas de cada uno de los taludes para un análisis de equilibrio limite por formación de cuñas, por la distribución de las discontinuidades. Ver Figura 4.3 y 4.4.



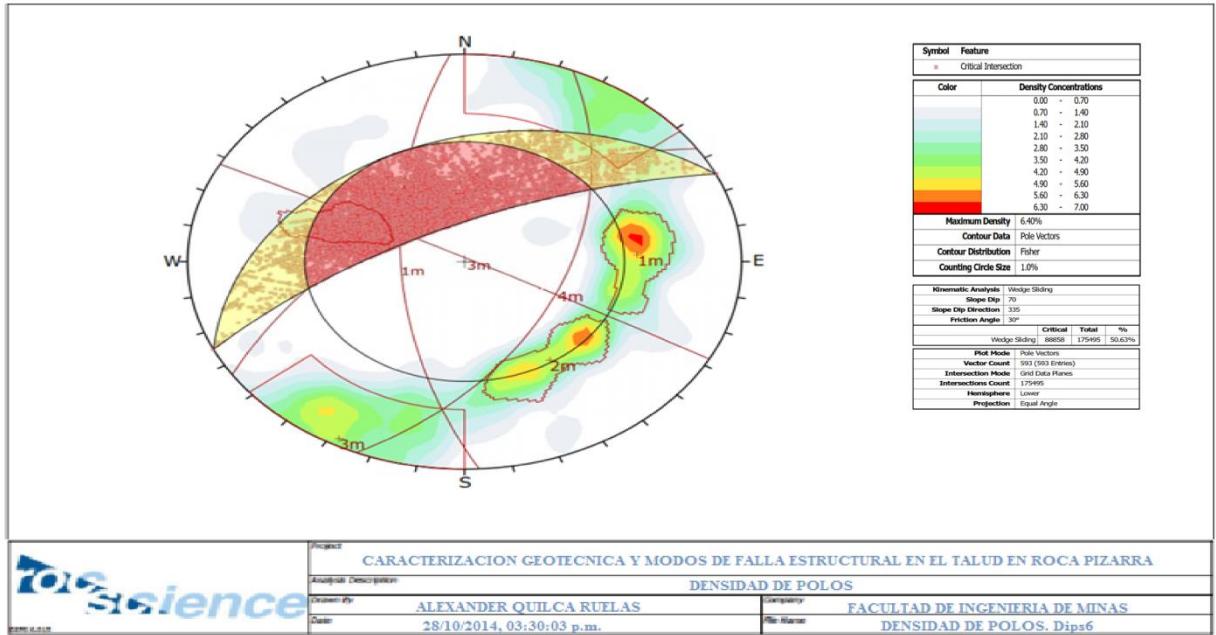


Figura 4.3 determinación de familias de discontinuidades Caracterización geotécnica y modos de fallas estructurales en el talud en roca pizarra. Los datos de las estaciones geomecánica. Ver Anexos B

f. Análisis de estabilidad estático.

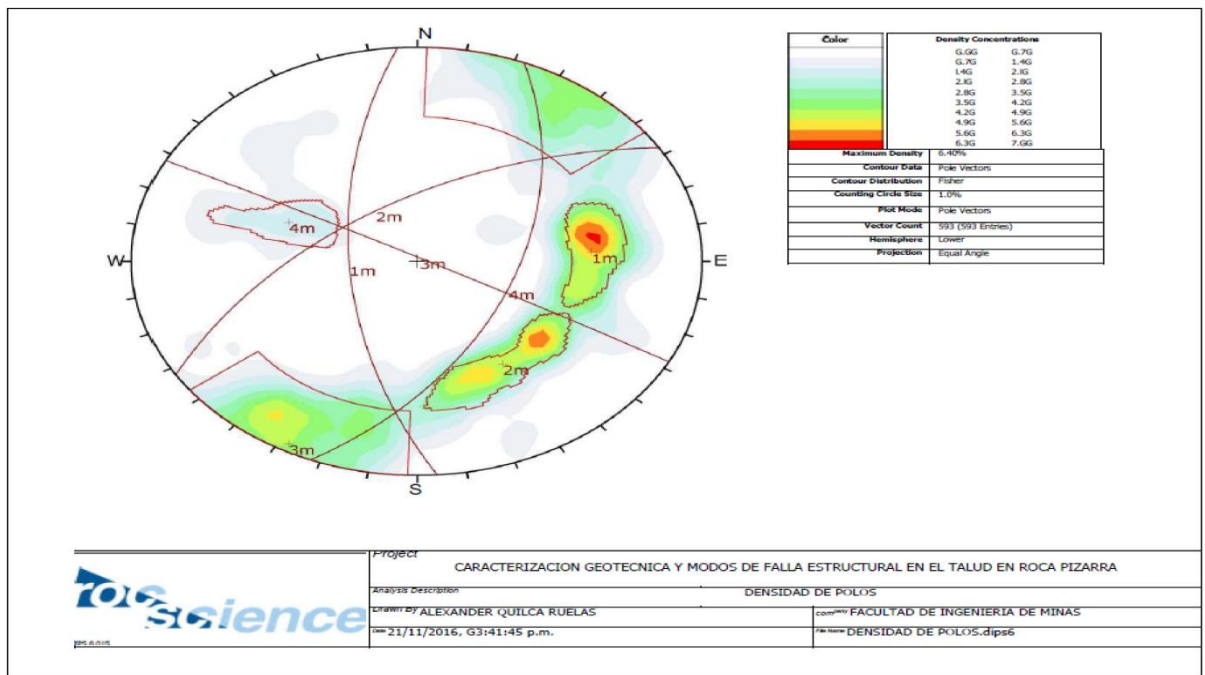


Figura 4.4 Caracterización geomecánica y modos de falla Ver Anexo B

Este análisis se refiere a la estabilidad de las estructuras proyectadas y la roca basal, sin considerar la acción sísmica. Los resultados de los análisis se presentan en términos de factor de seguridad (fs) utilizando la metodología del equilibrio límite. Estos análisis se pueden realizar tanto en esfuerzos efectivos como esfuerzos totales.

De acuerdo a la guía ambiental para la estabilidad de taludes de depósitos de desechos, sólidos en mina, elaborado por el ministerio de energía y minas, recomienda un factor de seguridad estático de 1,3.

g. Análisis de estabilidad pseudoestático.

El método consiste en calcular el factor de seguridad contra deslizamiento, cuando una fuerza horizontal es igual al producto del coeficiente sísmico por el peso de la masa potencial de falla, la cual es adicionada a las fuerzas estáticas ya existentes en taludes de áreas alejadas, se utiliza los métodos pseudoestático con un coeficiente sísmico horizontal seleccionado sobre la base de la sismicidad de la zona de acuerdo a la guía ambiental para la estabilidad de taludes de depósitos de desechos, sólidos en mina, elaborado por el ministerio de energía y minas, recomienda un factor de seguridad (f.s.) pseudoestático mayor a 1,0.

En esta etapa del estudio, para el análisis pseudoestático se ha asumido un coeficiente sísmico que es de:

1.  $C=0,08g$
2.  $C=0,12g$

## h. Software empleado para el análisis.

El programa realiza los análisis de estabilidad según equilibrio límite bidimensional, calculando el factor de seguridad de un talud con varios estratos empleando el método simplificado de bishop y el de spencer. el programa permite analizar tanto una superficie única de falla como una gran cantidad de superficies de falla circulares y no circulares, permitiendo el análisis.

Se obtienen también los desplazamientos totales del elemento en análisis, para poder terminar si se formara fallas por volcamiento y deslizamiento.

## i. análisis de estabilidad física de los taludes de corte.

Determinado los parámetros de los componentes de los taludes de corte 01 y 02; del material del. todos ellos abalados por ensayos de laboratorio y basados en teorías de estabilidad de depósitos de desmonte de roca y granulometría gruesa, (Ver Cuadro 4.5) se ha evaluado la estabilidad del depósito de desmonte para su posterior cierre, tanto en condiciones estáticas y pseudoestático, tomándose como factores de seguridad (f.s.) mínimos, los recomendados por la guía ambiental elaborado por el ministerio de energía y minas, que son:

Cuadro 4.5

Factor de seguridad mínimo recomendado

<b>caso</b>	<b>factor de seguridad f.s. mínimo</b>
análisis estático	1.3
análisis pseudoestático	1.2
análisis dinámico	1.1

Lo resultados de laboratorio fuente: elaboración propia.

**j. Análisis de estabilidad física de taludes de corte.** Ver Figura 4.5 y 4.6 y

Cuadro 4.6.

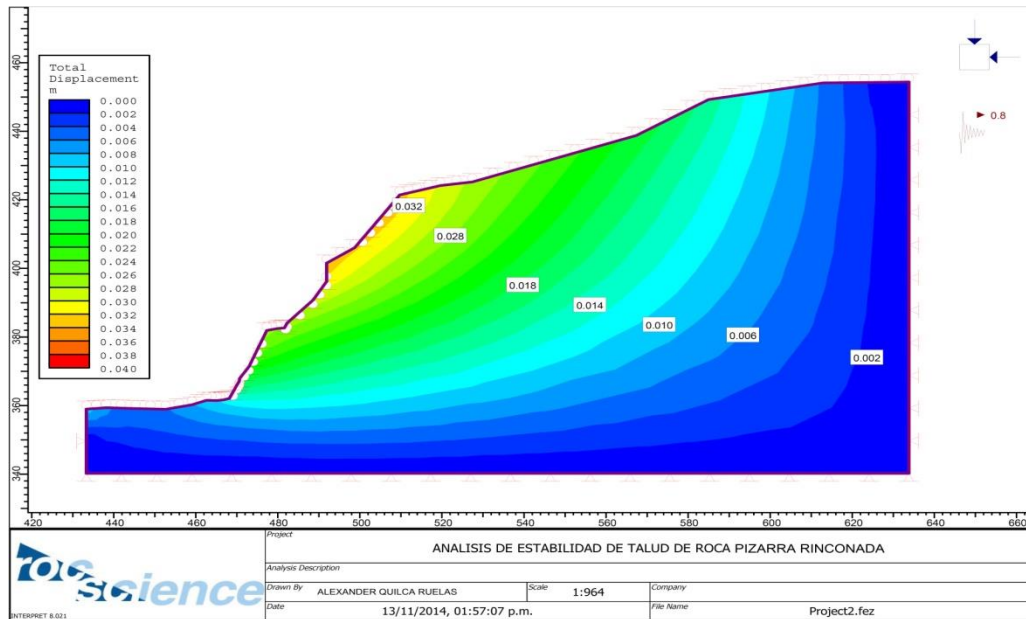


figura 4.5 análisis pseudoestático del corte a – a´. (deformaciones totales) (phase2 8.0 rocsience®)

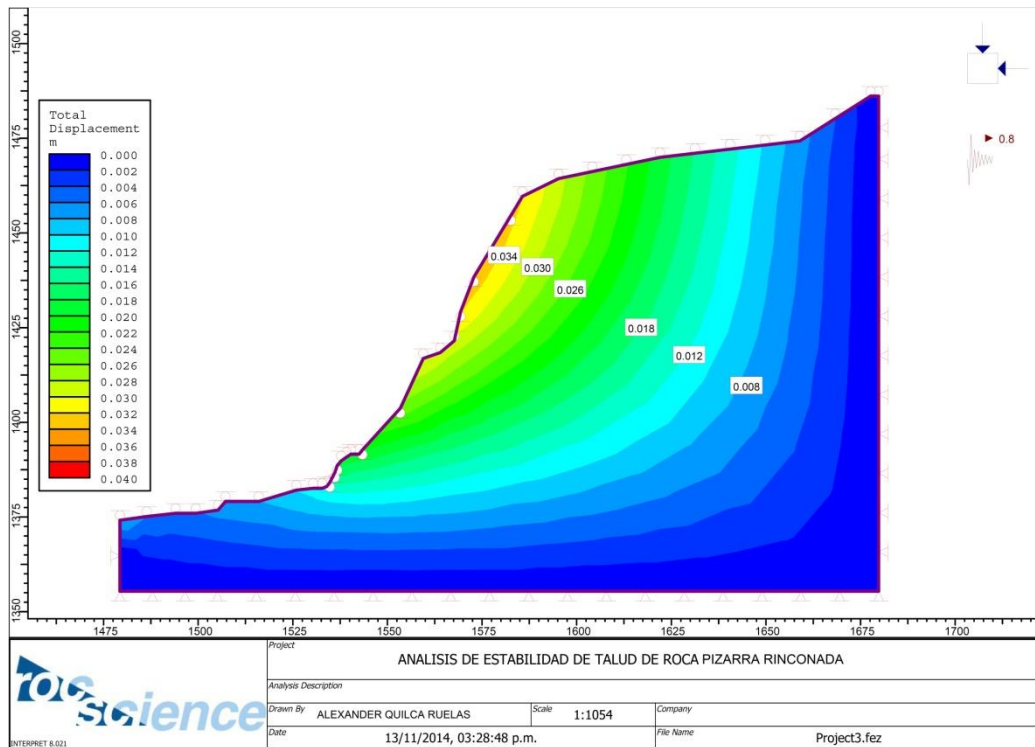


figura 4.6 análisis pseudoestático del corte b – b´. (deformaciones totales). (phase2 8.0 rocsience®)

Cuadro 4.6

análisis de estabilidad física de talud de corte.

Identificación del corte	f.s. Seudoestático ( $c = 0.08$ )	Conclusión
Corte a - a'	2.84	Estable.
Corte b - b'	2.83	

Fuente: Elaboración propia

Como se muestra en el cuadro, los resultados de estabilidad superan ampliamente el análisis pseudoestático, con un índice de sismicidad de  $c = 0.8$ .

#### 4.5. Sismicidad del área de estudio.

##### 4.5.1. Generalidades.

Dentro del territorio peruano se han establecido diversas zonas, las cuales presentan diferentes características de acuerdo con la mayor o menor presencia de los sismos. Esta sismicidad es principalmente producto de la subducción de la placa de nazca debajo de la placa continental a lo largo de la costa peruana. Según el mapa de zonificación sísmica propuesto en la nueva norma de diseño sismo resistente e.030, del reglamento nacional de construcciones (1997), el área de estudio se encuentra comprendida en la zona 2, y de acuerdo a Bolaños y Monroy (2004), la aceleración correspondiéndole es de  $0.15g$ , y habiendo ocurrido en el área cercana al proyecto el 9 de abril de 1928 un terremoto en Ayapata, puno. Silgado (1978) refiere que en el pueblo de Ollachea se oían detonaciones subterráneas y luego venían sacudimientos de tierra. del nevado Allincapac se desprendieron con estrépito enormes masas de hielo. Los derrumbes de los taludes del río Esquilaya formaron una represa natural que más tarde se rompió, y de acuerdo.

#### 4.5.2. Aceleración del diseño.

Por otro lado, según el mapa de fuentes sismogénicas superficiales, propuesto por Castillo y Alva (1993), la máxima magnitud que puede ocurrir en el área del proyecto asociada a estas fuentes es de 7.1, asimismo, los mismos autores han presentado un mapa de isoaceleraciones determinadas a partir de criterios probabilísticos, considerando un porcentaje de excedencia de 10% para una estructura cuya vida útil será de 100 años, lo cual corresponde a un tiempo de retorno del sismo máximo probable de 475 años. Este mapa en el cual se puede observar que, para el área en estudio, los autores proponen una aceleración máxima de 0.24g. el periodo de retorno antes indicado es consistente con lo estipulado por el ministerio de energía y minas para el análisis sísmico de depósito de relaves en condición de abandono y puede ser extrapolado para el caso de botaderos de desmonte, considerando el periodo de vida operativo y la etapa post-cierre. por lo tanto, para el análisis sísmico del botadero de desmonte será de 0.24g como aceleración máxima esperada en la zona del proyecto.

#### 4.5.3. Coeficiente sísmico.

De acuerdo con la literatura técnica existente ampliamente aceptada internacionalmente, se recomienda que el coeficiente sísmico a ser considerado en el análisis en la condición pseudoestática de diseño de taludes, sea obtenido como una fracción que varía entre 1/2 a 1/3 de la máxima aceleración esperada.

Esta recomendación es consistente con las recomendaciones del cuerpo de ingenieros del ejército de los estados unidos (*U.S. army corps of engineers*), quienes sugieren el uso de un coeficiente sísmico pseudoestático igual al 50% de la aceleración pico de diseño. Debido a distorsiones de los algoritmos de cómputo, es una práctica común utilizar una aceleración reducida para el análisis pseudoestático- la recomendación del

cuerpo de ingenieros está basada en estudios de numerosos terraplenes y su comportamiento durante eventos sísmicos.

Por lo tanto, para el análisis pseudoestático en condiciones de operación de los componentes estudiados, usaremos un coeficiente sísmico de 1/3 de la aceleración máxima que corresponde a  $c = 0,08g$  y para el cierre final usaremos 1/2 de la aceleración máxima que corresponde a  $c = 0.12g$ . Ver Figura 4.7

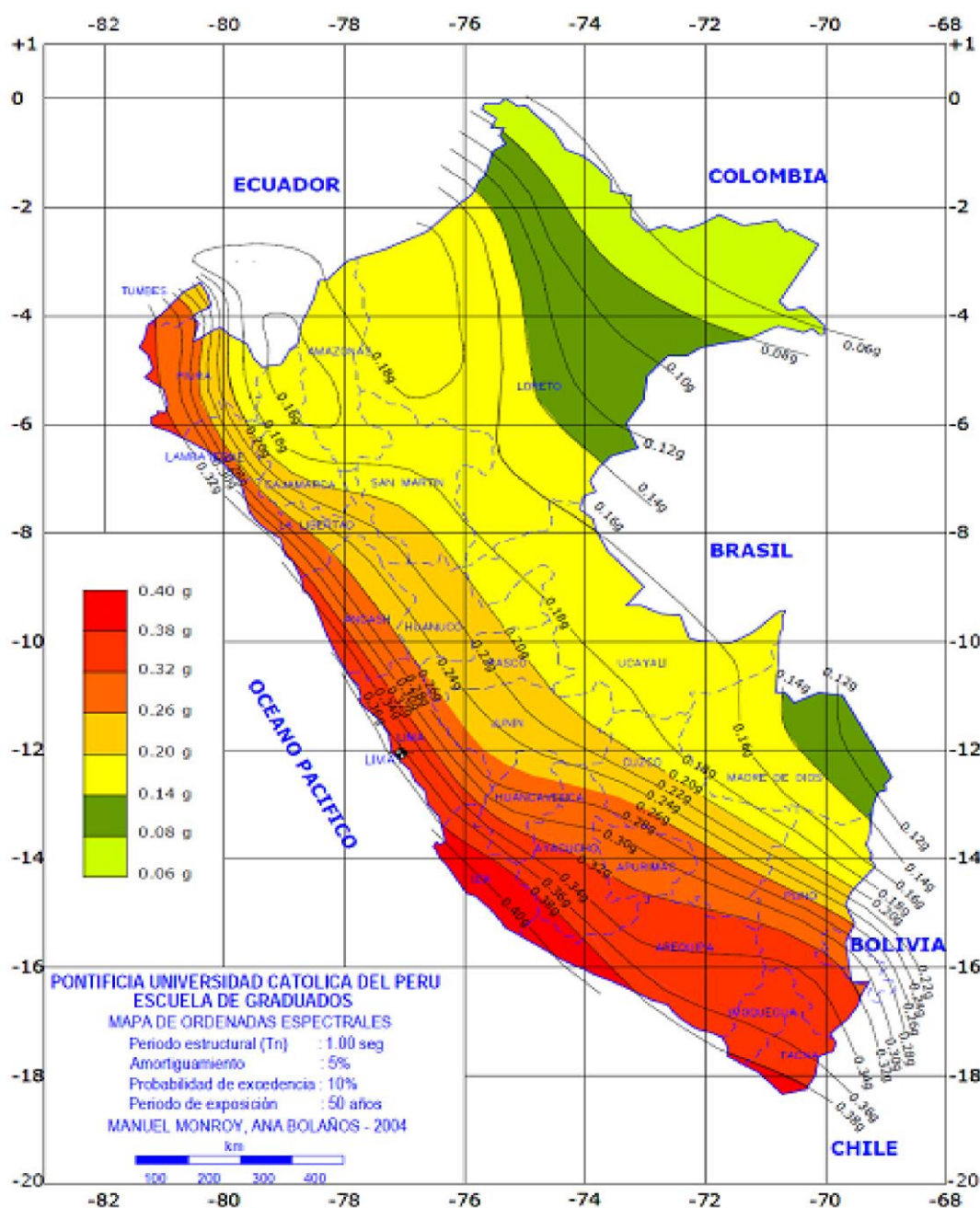


Figura 4.7 Distribución de ordenadas espectrales para el Perú  
Fuente: Manuel Monroy, Ana Bolaños – 2004

#### 4.6. Criterio general

Es determinar las características y la fuerza de impacto de los bloques de roca sobre la protección del concreto armado. Ver Figura 4.8 y Cuadro 4.7.

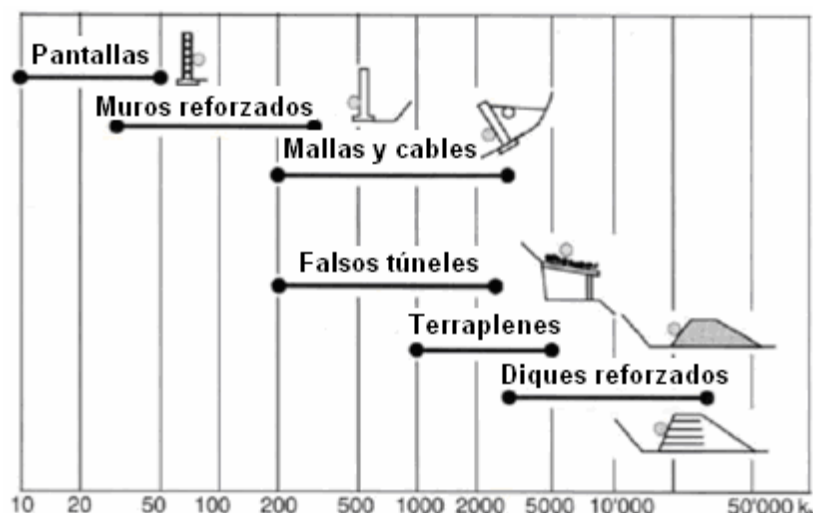


Figura 4.8 Capacidad de absorción de energía para diferentes  
Fuente: Sistemas de protección (L`OFROU, 2008)

Intervalo de dominio de cada una de las variables que definen la magnitud del impacto.

Cuadro 4.7

Variables que definen el impacto

Variable	Intervalo de dominio	Tipo
Velocidad (m/s) - v	9,90 -76,72	Determinista y continua
Energía (kJ) - E	200 – 2500 $E=1/2*m*v^2$	Determinista y continua
Masa (kg) - m	$M=VxYr$	Determinista y continua
Densidad de bloque de roca – kg/m <sup>3</sup>	2700	Constante

Cuadro de variables fuente Ruiz días 2005



**4.6.1. Análisis histórico.**

El análisis de la estructura permitió determinar que el tamaño máximo de bloque independiente tiene un volumen de aproximadamente 100 m<sup>3</sup> y la altura de caída máxima de este bloque es de hasta 50 m. Ver Figuras 4.9 y 4.10. Ver Cuadro 4.8.

Cuadro 4.8

Análisis del volumen y estudio de caída de rocas

FECHA	TAMAÑO DE BLOQUE DE ROCA			
	1.9*1.3*0.7 (1.7 m <sup>3</sup> )	2.6*1.4*0.7 (2.5 m <sup>3</sup> )	2.4*1.7*1.1 4.5 m <sup>3</sup>	2*1.4*1.3 (3.6 m <sup>3</sup> )
AGOSTO 2015	2.3*1.1*0.9 (2.3 m <sup>3</sup> )	2.9*1.4*0.45 (1.8 m <sup>3</sup> )	1.6*1.4*1 1.3 m <sup>3</sup>	1.4*1.1*0.7 (1.1 m <sup>3</sup> )
	2.1*1.05*0.6 (1.3 m <sup>3</sup> )	1.4*1.1*0.7 (1.1 m <sup>3</sup> )	1*1*1 (1.0 m <sup>3</sup> )	1*3.1*1.9 (5.9 m <sup>3</sup> )
	1.5*1*1 (1.5 m <sup>3</sup> )	2.3*1.1*0.6 (1.5 m <sup>3</sup> )	2.2*1*0.7 (1.5 m <sup>3</sup> )	2.1*1.1*0.7 (1.6 m <sup>3</sup> )
ENERO 2016	1.5*1.2*1.1 (2.0 m <sup>3</sup> )	22.5*1.5*0.6 (2.3 m <sup>3</sup> )	2.1*1.1*1 (2.3 m <sup>3</sup> )	1.5*1.3*1.2 (2.3 m <sup>3</sup> )
	2.3*1.5*0.7 (2.4 m <sup>3</sup> )	2*1.3*1 (2.6 m <sup>3</sup> )	2.5*1.2*1.1 (3.3 m <sup>3</sup> )	2*1.9*0.8 (3.0 m <sup>3</sup> )
	3.24*0.9*0.9 (2.6 m <sup>3</sup> )	2*1.3*1 (2.6 m <sup>3</sup> )	2.2*1.5*1.1 (3.6 m <sup>3</sup> )	1.6*1.6*1.4 (3.6 m <sup>3</sup> )
JULIO 2016	2.5*1.5*0.9 (3.4 m <sup>3</sup> )	2.2*1.9*0.8 (3.3 m <sup>3</sup> )	9*5.3*2.4 (114.5 m <sup>3</sup> )	8.3*5*2.4 (99.6 m <sup>3</sup> )
	2.3*1.9*0.9 (3.9 m <sup>3</sup> )	1.9*1.9*1.3 (4.7 m <sup>3</sup> )	2.4*1.6*1.3 (5.0 m <sup>3</sup> )	2.2*2.1*1.1 (5.1 m <sup>3</sup> )
	1.9*1.8*1.5 (5.1 m <sup>3</sup> )	1*3.1*1.9 (5.9 m <sup>3</sup> )	2.5*1.6*1.6 (6.4 m <sup>3</sup> )	2.7*2.5*1.3 (8.8 m <sup>3</sup> )
OCTUBRE 2016	4.8*2.2*0.9 (9.5 m <sup>3</sup> )	4.1*1.6*1.5 (9.8 m <sup>3</sup> )	3*1.9*1.8 (10.3 m <sup>3</sup> )	4.7*2.1*1.3 (12.8 m <sup>3</sup> )
	7.4*4.3*1.8 (57.3 m <sup>3</sup> )	4.9*4.7*3 (69.1 m <sup>3</sup> )	8.3*5*2.4 (99.6 m <sup>3</sup> )	

Fuente: Elaboración propia. Recopilación de datos de caída de rocas.

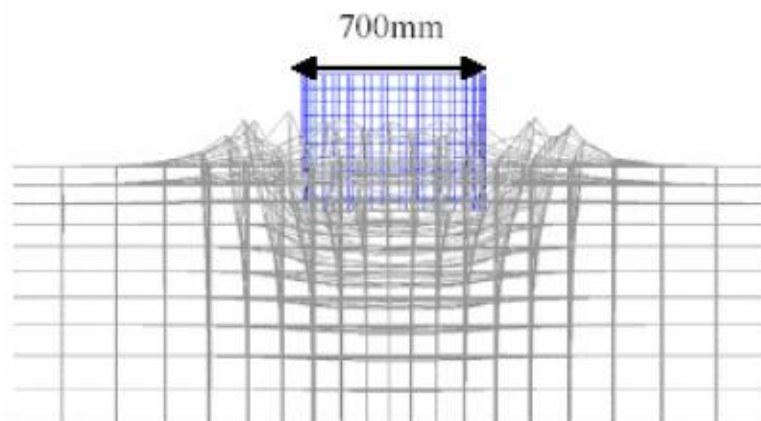


Figura 4.9. Simulación de caída

Fuente:” Rockfall impact on protection galleries

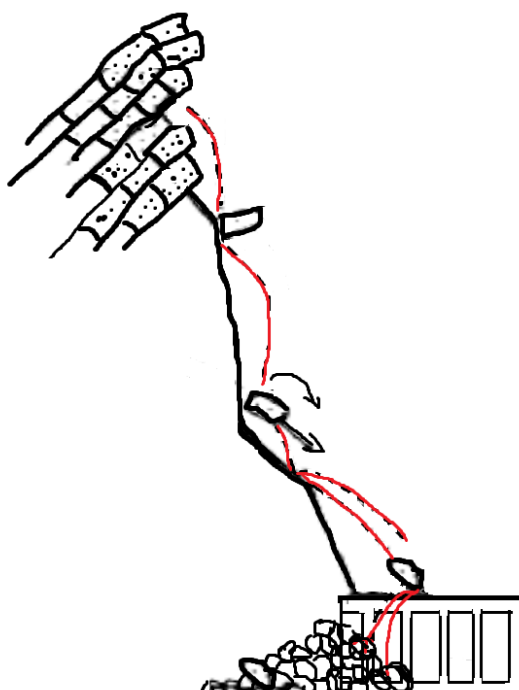


Figura 4.10 Simulación de caída

Fuente: Elaboración propia

#### 4.6.2. Cálculo de las fuerzas de impacto

Se tomaron muestras de bloques y la constancia de caída de los bloques para desarrollar la resistencia del falso túnel tomando en cuenta que el máximo bloque a

desprenderse es de 50 m<sup>3</sup> de acuerdo a la recopilación de datos teniendo en cuenta que la frecuencia de caída no es constante para este volumen. Ver Cuadro 4.9.

Para un bloque de 50 m<sup>3</sup>

Volumen del bloque = 50 m<sup>3</sup>

Altura de caída H = 50 m

Angulo de fricción interno = 25°

Densidad del bloque

$$\rho = 2.71 \frac{g}{cm^3} \times 1000 \frac{Kg}{m^3} = 2710 \frac{Kg}{m^3}$$

Masa = 50 m<sup>3</sup> x 2710 = 135.500 kg

Velocidad  $v = \sqrt{2xgxh}$

$$v = \sqrt{2 \times 9.81 \frac{m}{s^2} \times 50m} = 31.32 \frac{m}{s}$$

Radio R = 1.0 m

Módulo de elasticidad ME = 23.22 MN/m<sup>2</sup>

$$f = 2.8 \times e^{-0.5} \times R^{0.7} \times ME^{0.4} \tan \varphi \left( m \times \frac{v^2}{2} \right)^{0.6} f$$

$$= 2.8 \times e^{-0.5} \times (1.0)^{0.7} \times (23.22 \times 10^6)^{0.4} \times \tan 25^\circ \times \left[ 135500 \frac{(31.32)^2}{2} \right]^{0.6}$$

F = 34.56MNx 101.9716213 MN/TM

F = 3524.14TM

Volumen del bloque = 32 m<sup>3</sup>

Altura de caída H = 50 m

Angulo de fricción interno = 25°

Densidad del bloque = 2710 kg/m<sup>3</sup>

Masa = 86.720 kg

Velocidad  $v = \sqrt{2 \cdot g \cdot H} = 31.32 \text{ m/s}$

Radio  $R = 1.0 \text{ m}$

Modulo de elasticidad del suelo  $ME = 23.22 \text{ MN/m}^2$

$$= 2.8 \times e^{-0.5} \times R^{0.7} \times ME^{0.4} \tan \varphi \left( m \times \frac{v^2}{2} \right)^{0.6}$$

$F = 26.44 \text{ MN} = 2696.13 \text{ TM}$

Volumen del bloque = 10 m<sup>3</sup>

Altura de caída  $H = 50 \text{ m}$

Angulo de fricción interno = 25°

Densidad del bloque = 2710 kg/m<sup>3</sup>

Masa = 27.100 kg

Velocidad  $v = \sqrt{2 \cdot g \cdot H} = 31.32 \text{ m/s}$

Radio  $R = 1.0 \text{ m}$

Modulo de elasticidad  $ME = 23.22 \text{ MN/m}^2$

$$f = 2.8 \times R^{0.7} \times e^{-0.5} \times ME^{0.4} \tan \varphi \left( m \times \frac{v^2}{2} \right)^{0.6}$$

$F = 13.16 \text{ MN} = 1341.95 \text{ TM}$

Cuadro 4.9

Calculo de fuerzas de impacto

Tamaño (m <sup>3</sup> )	Fuerzas de impacto (Ton)
50	3524.14
32	2696.13
10	1341.95
5	885.11
1	337.53

Fuente: Fórmula de Ernst Basler + Partners Ltda (1997).

#### **4.6.3. Factores que afectan la fuerza dinámica**

La fuerza dinámica de los bloques sobre la protección depende de las siguientes características (Descoeurdes & Montani, 1997):

- El peso y la forma del bloque, su altura de caída y el ángulo de impacto.
- Las características del material de la cubierta, tipo de material, espesor y grado de compactación.
- Las características de la estructura, especialmente la rigidez.

### **4.7. Diseño de la estructura**

#### **4.7.1. Características generales del diseño de la estructura**

Las características generales de un túnel falso son las siguientes:

Pórtico de concreto armado. El cual actúa como un techo protector para el tránsito de las operaciones mineras

Bloque o relleno de concreto ciclópeo entre el túnel falso y el talud. Este bloque de concreto cíclope va a resistir cargas del impacto de los bloques de mayor tamaño, los cuales caen en el pie del talud.

Teniendo en cuenta que la estructura de concreto armado se diseña para soportar cargas de impacto de los bloques de gran tamaño, éstos deben ser absorbidos por el bloque de concreto ciclópeo. Ver Figura 4.11, Cuadro 4.10. Cuadro 4.11

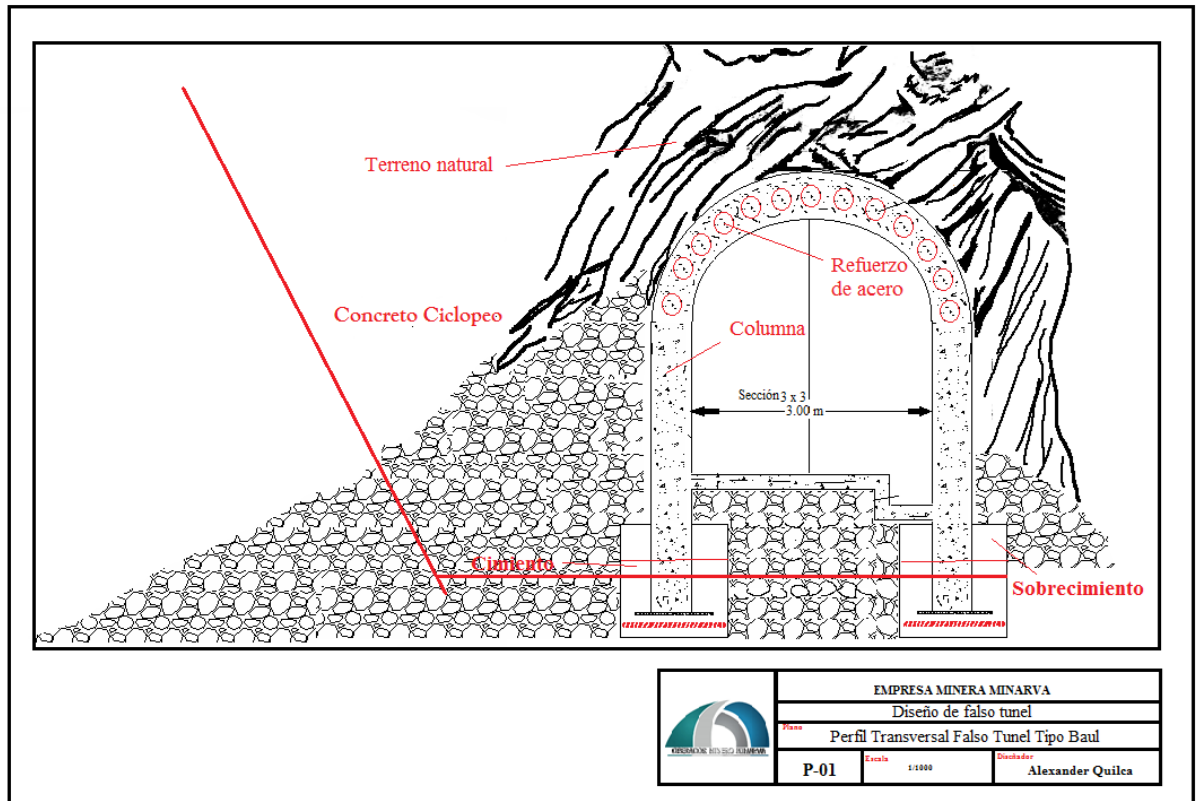


Figura 4.11 Diseño del falso túnel

Fuente: Elaboración propia

#### 4.7.2. Especificaciones de los materiales (concreto reforzado)

Para el diseño de los diferentes elementos se recomienda la utilización de los siguientes materiales: Ver Cuadro 4.10, 4.11 y Figura 4.12.

- Concreto para cimientos  $f'c= 250 \text{ kg/cm}^2$
- Concreto para columnas  $f'c= 250 \text{ kg/cm}^2$
- Concreto para vigas  $f'c= 250 \text{ kg/cm}^2$
- Acero diámetro mayor e igual a 3/8'  $F_y= 4200 \text{ kg/cm}^2$

Cuadro 4.10

Agregados gruesos

Nro De Tara	M-1	M-2	M-3
Peso de Tara	13.09	11.26	13.44
Peso de Tara + M. Húmeda	63	50.01	65.25
Peso de Tara + M. Seca	62.45	49.61	64.61
Peso de Agua	0.55	0.4	0.64
Peso Muestra Seca	49.36	38.35	51.17
Contenido de humedad W%	1.11	1.04	1.25
Promedio cont. Humedad W%		<b>1.14</b>	

Fuente: Elaboración propia. Ver en Anexo C

Cuadro 4.11

Agregados finos

Nro De Tara	T-4	T-5	T-6
Peso de Tara	12.45	16.71	13.76
Peso de Tara + M. Húmeda	60.9	65.88	61.89
Peso de Tara + M. Seca	58.9	63.87	59.89
Peso de Agua	2	2.01	2
Peso Muestra Seca	46.45	47.16	46.13
Contenido de humedad W%	4.31	4.26	4.34
Promedio cont. Humedad W%		<b>4.30</b>	

Fuente: Elaboración propia. Ver en Anexo C



Figura 4.12 Armado de techo protector tipo baúl

Fuente: Elaboración propia

### 4.7.3. Dimensionamiento

Las dimensiones geométricas de la viga y tablero están gobernadas por los refuerzos máximos permisibles a cortante y flexión en la viga y losa, y en el esfuerzo admisible de terreno en la cimentación.

### 4.7.4. Cargas

Las cargas muertas están constituidas por el peso propio de los elementos y el impacto de las rocas que caen sobre la estructura

El impacto de la roca que actúa sobre la estructura se modela como carga aplicada sobre la viga.

### 4.7.5. Cimentación

La cimentación está compuesta por vigas transversales al eje de la vía y por vigas longitudinales las cuales actúan en las dos direcciones. La modelación de la estructura se realizó median un diseño de una hoja de cálculo en Excel.

### 4.7.6. Viga pre esforzada. Ver Cuadro 4.12

Cuadro 4.12

Diseño de flexión cortante

DESCRIPCIÓN	DATO o RESULTADO	UNIDAD	VALORES	COMENTARIOS
<b>DATOS GENERALES:</b>				
Resistencia del Horm.	$f'_c =$	[kg/cm <sup>2</sup> ]	280.00	
Lm. fluencia del hierro	$f_y =$	[kg/cm <sup>2</sup> ]	4200.00	
Ancho de viga "b" o "bw"	b =	[cm]	40.00	En vigas "T", Asím se calcula con bw y no con b
Peralte efectivo "d"	d =	[cm]	60.00	
Momento de diseño "M <sub>u</sub> "	M <sub>u</sub> =	[t-m]	53.00	
Factor max. (no cambiar)	Fmax =		0.50	Este factor se aplica en pb Para sismo, Fmax <= 0.5
<b>VIGA SIMPLE:</b>				
<b>RESULTADOS:</b>				
As mín	Calculado	[cm <sup>2</sup> ]	8.00	Datos: Fc,fy,bd,Mu, se dan en Datos Generales
As tensión	Resultado	[cm <sup>2</sup> ]	25.29	ok
As max (sismo <0.5 As b)	Calculado	[cm <sup>2</sup> ]	34.00	
Factor β <sub>1</sub> (no cambiar)	Predefinido		0.85	
Para refuerzo As en [cm <sup>2</sup> ]=	25.29	Mmax=	40.00	Fc,fy,bd se dan en datos generales

Fuente: Elaboración propia. Diseño de flexión cortante F axial y torsión en Vigas. Ver Anexo D



#### 4.7.6.1. Fundamentos del concreto pre esforzado

Es un concreto reforzado en el cual se ha inducido esfuerzos internos para reducir los esfuerzos de tensión en el concreto debido a cargas externas y mejorar su comportamiento frente a cargas de impacto.

En general el diseño de elementos en pre esforzado utiliza un concreto con una alta resistencia que oscila entre

$$f'c = 250 \text{ kg/cm}^2 \text{ y}$$

$$f'c = 250 \text{ kg/cm}^2.$$

#### 4.7.6.2. Calidad del acero ( $F_y$ )

La calidad del acero a usar en la construcción de un falso túnel convencional en virtud del enfoque práctico que persigue esta investigación se adopta el uso del acero de refuerzo corrugado grado 60 ( $F_y = 4200 \text{ MPa}$ ) que debe cumplir los aceros en términos del esfuerzo a la fluencia  $F_y$  usados por algunos trabajos experimentales:

- Variable calidad del acero de refuerzo
- Variable intervalo de dominio
- Calidad del acero a flexión (MPa) –  $F_y 4200$  constante
- Calidad del acero a cortante (MPa) –  $F_{yt} 4200$  constante

#### 4.7.6.3. Factor de incremento dinámico para el acero

Las estructuras sometidas a cargas explosivas o impactos, tal como ocurre con estructuras de protección contra caída de rocas, responden normalmente a tasas de deformación muy altas (sobre  $1000 \text{ s}^{-1}$ ). Y a estas tasas de deformación tan altas el esfuerzo de fluencia del acero de refuerzo se puede incrementar hasta un 100 % o más (Malvar L. y Crawford J. 1998).

Los aceros que se utilizan en el pre esforzado son aceros duros, de elevado límite elástico y alta resistencia a la rotura.

#### **4.7.6.4. Concreto básico del pre esforzado**

El diseño de los elementos de concreto pre esforzado se realiza mediante el balanceo de los esfuerzos internos producidos por el pre esfuerzo y los esfuerzos externos debido a las cargas.

### **4.8. Construcción**

#### **4.8.1. Construcción de la estructura**

Para el establecimiento de las especificaciones de construcción se ha tomado como base el informe que establecieron los diseñadores del túnel falso

#### **4.8.2. Construcción de los cimientos**

Construcción de los cimientos (vigas transversales VCT y longitudinales VCL), columnas y estructura de pavimento en la mitad exterior del túnel falso. Los cimientos deben construirse apoyados sobre la roca.

Entre los cimientos se debe colocar una capa de material granular y sobre el conjunto una placa de concreto reforzado. En esta etapa del proyecto puede utilizar para el tránsito durante la construcción de la segunda etapa del sistema de cimientos y columnas.

La cimentación está compuesta tanto por la viga transversal al eje de la vía (VCT 1.0m\*1.0m), como por la viga longitudinal (VCL 1.0m\*-1.0m), actuando en las dos direcciones.

#### **4.8.3. Construcción del muro perimetral con gaviones de piedra**

Este muro debe construirse en todo el perímetro exterior de la placa, incluyendo los portales del túnel falso.

El concreto reforzado será de clase C, con resistencia mínima a la compresión de a los 28 días de 280 kg/cm<sup>2</sup>.

La vía se construirá en concreto rígido apoyado directamente sobre las vigas transversales VCT de la estructura (Túnel falso). El concreto para la placa reforzada de la vía llevará un acelerante, dosificado y aplicado según las especificaciones del fabricante.

El concreto ciclópeo se compone de concreto simple clase D (210kg/cm<sup>2</sup>) y agregado ciclópeo, en proporción de 40% del volumen total como máximo. Cuadro 4.13.

Cuadro 4.13

Metrado de cargas

W	W (ton)	Xi	Mi
Wa	1.477	1.5	2.216
Wb	1.477	0.5	0.739
Wc	2.216	1.25	2.769
Wd	0.739	1.5	1.108
	5.908		6.831

Diseño de concreto ciclópeo. Ver anexo C

## CAPÍTULO V

### EXPOSICIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

#### 5.1. Generalidades

Este falso túnel tiene una longitud de 10 m. aproximadamente, la sección es de 3\*3 m<sup>2</sup>, medido desde el portal de la entrada hasta el inicio de la bocamina. La geometría del túnel tiene la forma de herradura, dado que tiene una mejor distribución de esfuerzos.

El objeto del presente trabajo corresponde al diseño y construcción de falso túnel para la protección de caída de rocas siendo como un puente en el portal de acceso de la galería principal de la contrata minera Minarva. Teniendo en cuenta la estructura que conforma de vigas aéreas transversales a la vía, que soportan una losa de concreto tipo baúl de 0.40 m de espesor. Las vigas se apoyan sobre columnas de 0.70m \*0.90m, separadas cada 0.70m la viga llevará un pre esfuerzo en su centroide. La cimentación está formada por una retícula de vigas transversales y vigas de cimentación longitudinales.

Por lo consiguiente de tomaran estos aspectos

- Caracterización geotécnica
- Diseño del falso túnel
- Construcción del falso túnel

## **5.2. Criterio de análisis.**

Para la selección de túneles falsos se deben realizar ciertos estudios previos al lugar específico donde históricamente han ocurrido los eventos de caídas de roca, se debe tener establecido el lugar y el tramo de vía afectado por el movimiento de masas.

La localización del tramo de la vía es primordial antes de cualquier estudio.

## **5.3. Condición de análisis.**

### **5.3.1. Antecedentes y reseña histórica**

Cuando se requiere la construcción de una estructura de protección contra las caídas de roca tipo túnel falso se requiere tener un archivo histórico de todos los eventos ocurridos en el sitio. La finalidad de estos estudios es tener una idea de la frecuencia de las caídas y de los tamaños de los bloques de roca que caen, esto con el fin de obtener un promedio de volumen de roca, el cual sirve como parámetro de diseño de la capa amortiguadora.

El siguiente paso es realizar una descripción exacta del problema que acarrea la caída de bloques en la zona y la importancia de la vía a nivel general.

## **5.4. Estudio geológico y geotécnico**

Es necesario realizar una descripción regional y local en la cual se detallen las principales características geológicas de la zona tales como formaciones geológicas, tectónica, estructuras, buzamientos, meteorización, espesores de capas y estado del talud en general.

El estudio geotécnico determinará el comportamiento del talud y las posibles causas de los desprendimientos de roca.

### 5.5. Diseño del falso túnel

En general las especificaciones del concreto requerirán una resistencia mínima a compresión. Estas especificaciones también podrían imponer limitaciones en la máxima relación agua/cemento (a/c) y el contenido mínimo de cemento. Es importante asegurar que estos requisitos no sean mutuamente incompatibles. La resistencia a compresión a 28 días será la más importante, debido a esto la resistencia a otras edades podría controlar el diseño.

#### a. Información requerida para el diseño de mezclas

- Análisis granulométrico de los agregados
- Peso unitario compactado de lo agregados (fino y grueso)
- Peso específico de los agregados (fino y grueso)
- Contenido de humedad y porcentaje de absorción de los agregados
- Perfil y textura de los agregados
- Tipo y marca del cemento
- Peso específico del cemento
- Relaciones entre resistencia y la relación agua/cemento. Para el diseño de los

diferentes elementos se utilizará de los siguientes materiales: Ver Cuadro 5.1.

Cuadro 5.1  
Elementos para la construcción

Elementos	Resistencia	específica
• Concreto para cimientos	$f'c=$	210 kg/cm <sup>2</sup>
• Concreto para columnas	$f'c=$	210 kg/cm <sup>2</sup>
• Concreto para vigas	$f'c=$	210 kg/cm <sup>2</sup>
• Concreto para losa	$f'c=$	210 kg/cm <sup>2</sup>
• Acero diámetro mayor e igual a	$Fy=$	4200

Fuente: Elaboración propia. Ver Anexo C y D

### 5.5.1. Factor de seguridad

Este análisis se refiere a la estabilidad de las estructuras proyectadas y la fundación sin considerar la acción sísmica. Los resultados de los análisis se presentan en términos de factor de seguridad (F.S.) utilizando la metodología del equilibrio límite. Estos análisis se pueden realizar tanto en esfuerzos efectivos como esfuerzos totales.

Los factores de seguridad dan valores elevados para los bloques de 3524.14 y 2696.13 toneladas, ya que el impacto de estos ocurre en los puntos de mayor altura del relleno. Ver Cuadro 5.2.

El bloque de 1500 toneladas no representa una amenaza para la estabilidad de la estructura, salvo daños en el muro en gaviones por impacto directo sobre el elemento.

Tabla 5.2  
Factor de seguridad

Caso	Factor de seguridad fs. mínimo
Análisis estático	1.3
Análisis seudoestático	1.2
Análisis dinámico	1.1

Fuente: Elaboración propia

### 5.6. Construcción del falso túnel

Para el establecimiento de las especificaciones de construcción se tiene en cuenta los estudios previos de geomecánica

El diseño y la construcción se basó en el tamaño máximo de roca a desprenderse 3524.14 toneladas y el cálculo de concretos para la construcción con una resistencia específica de 210 kg/cm<sup>2</sup> a 28 días para que resista al máximo y con una estructura de acero de 3/8" con una resistencia de 4200 kg/cm<sup>2</sup> grado 60. Ver Figura 5.1, 5.2 y 5.3.



Figura 5.1 Procesos de construcción del falso túnel  
Fuente: Elaboración propia



Figura 5.2 término de la construcción del falso túnel  
Fuente: Elaboración propia

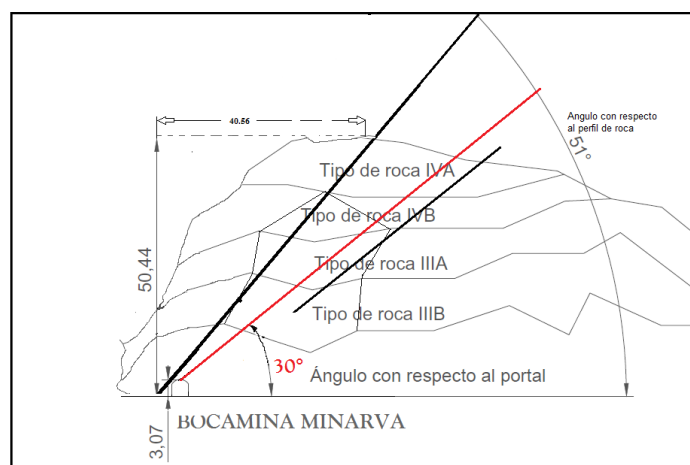




Figura 5.3 Vista exterior e interior del túnel falso  
Fuente: Elaboración propia

## CONCLUSIONES

La caracterización geomecánica es determinada mediante muestreos y la conclusión del tipo de roca y el diseño del falso túnel teniendo en cuenta el volumen y ángulo de roca a desprenderse.



El diseño y la construcción se basó en el tamaño máximo de roca a desprenderse 3524.14 toneladas y el cálculo de concretos para la construcción con una resistencia específica de 210 kg/cm<sup>2</sup> a 28 días para que resista al máximo y con una estructura de acero de 3/8" con una resistencia de 4200 kg/cm<sup>2</sup> grado 60.

## RECOMENDACIONES

- Para la selección de una estructura de protección túnel falso es necesario realizar los estudios previos al diseño, es importante recalcar que en nuestro medio lo más costoso es el movimiento de materiales por consiguiente al comparar la construcción
- Al realizar el cálculo de la fuerza de impacto se debe tener en cuenta que en todos los experimentos que se han realizado se ha modelado el impacto como una carga dinámica de corta duración, es decir, que la roca deja de inmediato la estructura luego del choque, rebotando hacia fuera del túnel, esta energía con la que la roca rebota es mínima ya que el propósito de la estructura es absorber parte de esta energía y transmitirla proporcionalmente a cada miembro de la estructura.
- En la simulación de la caída de rocas es necesario aclarar que el uso de un software no es necesario para diseñar la estructura ya que las formulas propuestas se hicieron para calcular fuerzas partiendo de parámetros simples como volumen del bloque, altura de caída, características del suelo, etc., los cuales se relacionaron para crear una ecuación que relacione la fuerza de impacto con el espesor de la capa amortiguadora, sin embargo el software sirve para tener una idea de la dirección del bloque y del sitio exacto donde ocurrió el evento y en algunos casos para calcular la fuerza de impacto.

## BIBLIOGRAFÍA

Alva Hurtado J. (1992), “Mecánica De Suelos Aplicada A Cimentaciones”, Capítulo De Estudiantes Aci-Uni, Lima.

Alvert Daniel Reyes Riveiro y Mauricio Alfredo Martinez (2008) Diseño y construcción de túneles falsos para el control de caída de roca

Badger and Lowell (2002) “Analysis of Rockfalls Hazards” Chapter 9.

Barton N, Lien R Y Lunde J (1974) “*Engineering Classification Of Rock Masses For The Design Of Tunnel Support*”. Rock Mechanics. Vol 6, N° 4, Pp 183-236

Bolaños Y Monroy (2004), Espectros De Peligro Sísmico Uniforme, Pucp, Tesis Magistral.

Carlos Lorente, “*Geotecnia Y Cimientos*” III 1ª Parte. Cimentaciones, Excavaciones Y Aplicaciones De La Geotecnia” 1980.

Hoek, E. Y Bray, J. (1974): “*Rock Slope Engineering*”. Imm. Ed. Chapman & Hall, Londres.

Hoek, E. Y Brown, E.T. (1980): “*Underground Excavations In Rock*”. Imm. Ed. Chapman & Hall. Londres.

Hudson, J.A. Y Harrison, J.P. (2000): “*Engineering Rock Mechanics. Illustrative Worked Examples*” Ed. Pergamon Press. Londres.

Instituto Geológico, Minero Y Metalúrgico Ingemmet (1992) *Geología De Los Cuadrángulos De San Antonio De Putina – Rinconada*.

Jaime Suárez Diaz Y Samuel Montero, 2005. Memorias De Diseño Túnel Falso Cerro De San Pablo.

Jaime Suárez.1998 Estabilidad De Taludes En Zonas Tropicales.

Mario Orlando Morales Cardenas (2009) caracterización geotécnica y determinación de ángulos de talud en yacimientos franke.

Ramírez Oyanguren, P. Et Al. (1984): "Mecánica De Rocas Aplicada A La Minería Metálica Subterránea". I.T.G.E., Madrid, España.

Reglamento Nacional De Cimentaciones (1997), "Norma E-050 De Suelos Y Cimentaciones", Lima- Perú.

Reglamento Nacional De Construcciones (1997)", "Norma Técnica De Edificaciones E-30-Diseño Sismorresistente", Lima - Perú.

Rockfall 6.1, Dr. Spang 2001. [www.Dr-Spang.De](http://www.Dr-Spang.De) O [www.Google.Com/Rockfall-Sheds](http://www.Google.Com/Rockfall-Sheds) "Rockfall Impact On Protection Galleries". R. Chikatamarla, J. Laue, S.

Rocscience (2005): SLIDE v 5.0. *Limit Equilibrium Slope Stability for Soil and Rock Slopes*. Canadá.

Rocscience (2005): SWEGDE v. 5.0. *3D Surface Wedge Analysis for Slopes*. Canadá.

Rocscience (2006): DIPS v.5.0. *Graphical and Statistical Analysis of Orientation Data*. Canadá.

Rocscience (2006): ROCDATA v. 4.0. *Analysis of Rock and Soil Strength Data*. Canadá.

Rocscience (2006): ROCPLANE v.2.0. *Planar Sliding Stability Analysis for Rock Slopes*. Canadá.

Rocscience (2010): PHASE2 v. 8.0. *Finite Element Analysis for Excavations and Slopes*. Canadá.

Romana M, (2005) “*Emboquille Sur Del Túnel De Torrecilla*”. Vi Simposio Nacional De Laderas Y Taludes Inestables. Valencia

Romana M, Casado R, Y Bonafé J, (2005) “*Emboquille Norte Del Túnel 2 En La Variante De Gandia*”. VI Simposio Nacional De Laderas Y Taludes Inestables. Valencia

Romana M. (2000) “*Uso De Clasificaciones Geomecánicas En Las Boquillas De Los Túneles*”. Ingeopres. Junio.

Romana, M. (2001) “*Recomendaciones De Excavación Y Sostenimiento Para Túneles*”. Revista De Obras Públicas. Mayo

Sergio esteban rosales garzón (2002) Desarrollo de una herramienta para el diseño de falsos túneles como protección contra impactos de caída de rocas usando redes neuronales artificiales

Sociedad Geológica Del Perú. Estratigrafía, Sedimentología Y Evolución Tectónica Del Área De Sur Del Perú.

Sogamoso, Lanziano J. F., Ojeda A. Tesis De Grado Uis. (1997) *Caracterización Geotécnica De Deslizamientos En La Carretera Bucaramanga –Barrancabermeja En El Tramo Puente Mata De Cacao-Puente*.

Terzaghi K. y Peck R.B. (1967), “*Soil Mechanics In Engineering Practice*”, John Wiley, New York.

Vesic A. (1973), “*Análisis De La Capacidad De Carga De Cimentaciones Superficiales*”, Jsmfed, Asce, Vol. 99.

## **ANEXO A**

### **Ensayo de laboratorio**

**PROPIEDADES FISICAS DE UNA MUESTRA DE ROCA.**

INFORME N° : 0305-A-2016-LMS&R-FIM-UNA-PUNO.  
 N° DE SOLICITUD : 091-2016-LMS&R-FIM-UNA-PUNO.  
 FECHA DE EMISION : 10/11/2016.  
 SOLICITADO POR : Bach. Alexander Quilca Ruelas  
 PROYECTO : Determinación de las Propiedades Geomecánicas de Una Muestra de Roca de la  
 Contrata Minarva  
 UBICACIÓN : Centro poblado Lunar de oro  
 PROFUNDIDAD : Superficial.  
 LABORATORISTA : Ing.Stive Valarde Ochoa  
 RESPONSABLE : Dr. Ing. Oscar Llanque Maquera.

**Gravedad Específica y Absorción de la Roca.**  
(ASTM D 6473-99)

	Resultados
Gravedad Especifica Nominal	2.78
Gravedad Especifica Nominal (s.s.s.)	2.79
Gravedad Especifica Aparente	2.81
Absorción (%)	0.31

**Densidad de la Roca.**  
(NTP 339.139 / ASTM D 2937-00)

	Resultados
Densidad de la roca (gr/cm <sup>3</sup> )	2.63
Densidad de la roca seca (gr/cm <sup>3</sup> )	2.71

**Observaciones:**

- La MUESTRA ha sido identificada y entregada por el solicitante. Estos datos se aplican solo a las muestras indicadas.
- Este documento no podrá ser reproducido total ni parcialmente sin La autorización de los laboratorios de la FIM UNA Puno.



**ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION SIMPLE DE NUCLEOS DE ROCA.**

(ISRM, ASTM C 42-92, ASTM D 5731-02)

INFORME N° : 0305-B-2016-LMS&R-FIM-UNA-PUNO.  
 N° DE SOLICITUD : 091-2016-LMS&R-FIM-UNA-PUNO.  
 FECHA DE EMISION : 10/11/2016.  
 SOLICITADO POR : Bach. Alexander Quilca Ruelas.  
 PROYECTO : Determinación de las Propiedades Geomecánicas de Una Muestra de Roca de la Contrata Minarva  
 UBICACIÓN : Centro poblado Lunar de oro.  
 PROFUNDIDAD : Superficial.  
 LABORATORISTA : Ing. Stive Valarde Ochoa.  
 RESPONSABLE : Dr. Ing. Oscar Llanque Maquera.

**RESUMEN DE RESULTADOS.**

	M-01	M-02	M-03	M-04
Diámetro del testigo ( $cm^2$ )	3.81	3.81	3.81	3.81
Área superior de testigo ( $cm$ )	7.61	7.63	7.62	7.61
Altura del testigo ( $cm$ )	11.40	11.40	11.40	11.40
Relación de esbeltez	0.501	0.499	0.500	0.501
Carga máxima aplicada ( $Kg-f$ )	8230	9340	8600	9200
Resistencia a la Compresión Simple $\sigma_c$ ( $Kg-f/cm^2$ )	721.8 7	819.2 3	754.3 3	806.9 5
Resistencia a la Compresión Simple $\sigma_c$ (MPa)	70.79	80.34	73.97	79.14
Promedio $\sigma_c$ (MPa)	76.06			

**CLASIFICACION EN FUNCION DE LA RESISTENCIA A LA CARGA UNIAXIAL (Modificado – ISRM, 1981)**

Descripción	Resistencia a la Compresión Uniaxial (MPa)
Roca Extremadamente frágil	0.25-1.0
Roca Frágil	1-25
Roca Medianamente frágil	25-50
Roca Fuerte	50-100
Roca Muy fuerte	100-250
Roca Extremadamente Fuerte	>250

**Observaciones:**

- Las Condiciones del Ensayo, representan las condiciones naturales de temperatura y humedad del elemento de origen.
- La relación de esbeltez de las muestras cumplen con lo especificado en la Norma.
- La MUESTRA ha sido identificada y entregada juntamente con el solicitante. Estos datos se aplican solo a las muestras indicadas.
- Este documento no podrá ser reproducido total ni parcialmente sin La autorización de los laboratorios de la FIM UNA Puno.

**ENSAYO DE RESISTENCIA A LA TRACCION INDIRECTA EN ROCA, METODO BRASILEÑO.**

(ISRM, ASTM D 3967 – 95a (Reapproved 2001))

INFORME N° : 0305-C-2016-LMS&R-FIM-UNA-PUNO.  
 N° DE SOLICITUD : 091-2016-LMS&R-FIM-UNA-PUNO.  
 FECHA DE EMISION : 10/11/2016.  
 SOLICITADO POR : Bach. Alexander Quilca Ruelas.  
 PROYECTO : Determinación de las Propiedades Geomecánicas de Una Muestra de Roca de la Contrata Minarva.  
 UBICACIÓN : Centro poblado Lunar de oro.  
 PROFUNDIDAD : Superficial.  
 LABORATORISTA : Ing.Stive Valarde Ochoa.  
 RESPONSABLE : Dr. Ing. Oscar Llanque Maquera.

**RESUMEN DE RESULTADOS.**

	M-01	M-02	M-03	M-04
Díametro del testigo (mm)	60.20	60.20	60.20	60.20
Altura del testigo (mm)	32.30	31.90	32.50	33.50
Fuerza de ruptura (Kg-f)	1586. 90	1520. 00	1680. 00	1750. 00
Resistencia a la tracción indirecta $\sigma_t$ (Mpa)	5.10	4.94	5.36	5.42
Promedio $\sigma_t$ (MPa)	5.20			

**Observaciones:**

- Las Condiciones del Ensayo, representan las condiciones naturales de temperatura y humedad del elemento de origen.
- La relación de esbeltez de las muestras cumplen con lo especificado en la Norma.
- La MUESTRA ha sido identificada y entregada juntamente con el solicitante. Estos datos se aplican solo a las muestras indicadas.
- Este documento no podrá ser reproducido total ni parcialmente sin La autorización de los laboratorios de la FIM UNA Puno.

**ENSAYO DE RESISTENCIA A LA CARGA PUNTUAL EN UNA MUESTRA DE ROCA.**

(ISRM, ASTM D 5731-02))

INFORME N° : 0305-D-2016-LMS&R-FIM-UNA-PUNO.  
 N° DE SOLICITUD : 091-2016-LMS&R-FIM-UNA-PUNO.  
 FECHA DE EMISION : 10/11/2016.  
 SOLICITADO POR : Bach. Alexander Quilca Ruelas.  
 PROYECTO : Determinación de las Propiedades Geomecánicas de Una Muestra de Roca de la Contrata Minarva.  
 UBICACIÓN : Centro poblado Lunar de oro.  
 PROFUNDIDAD : Superficial.  
 LABORATORISTA : Ing.Stive Valarde Ochoa.  
 RESPONSABLE : Dr. Ing. Oscar Llanque Maquera.

**RESUMEN DE RESULTADOS.**

N°	Forma de la Muestra	Carga Aplicada	Longitud (mm)	Diámetro equivalente (mm)	Presión Hidráulica (dN)	Is Corregido (MPa)	Factor de Corrección (F)	RCS Corregido (MPa)	Tipo de Rotura
01	Irregular	⊥	53.60	37.90	475.00	2.92	0.88	70.06	A
02	Irregular	⊥	53.40	37.90	486.00	2.99	0.88	71.68	A
03	Irregular	⊥	53.30	38.10	447.00	2.72	0.88	65.40	A
04	Irregular	⊥	53.00	37.80	456.00	2.81	0.88	67.53	A
05	Irregular	⊥	53.90	38.10	447.00	2.72	0.88	65.40	A
06	Irregular	⊥	54.50	38.90	458.00	2.70	0.89	64.88	A
07	Irregular	⊥	53.40	38.10	438.00	2.67	0.88	64.08	A
08	Irregular	⊥	54.50	38.90	501.00	2.96	0.89	70.97	A
09	Irregular	⊥	53.20	38.10	509.00	3.10	0.88	74.47	A
10	Irregular	⊥	53.30	38.10	468.00	2.85	0.88	68.47	A

**Legenda:**

- ⊥: Carga aplicada de forma perpendicular a la muestra.
- //: Carga aplicada de forma paralela a la muestra.

**CLASIFICACION EN FUNCION DE LA RESISTENCIA A LA CARGA UNIAXIAL (Modificado – ISRM, 1981)**

Descripción	Resistencia a la Compresión Uniaxial (MPa)
Roca Extremadamente frágil	0.25-1.0
Roca Frágil	1-25
Roca Medianamente frágil	25-50
<b>Roca Fuerte</b>	<b>50-100</b>
Roca Muy fuerte	100-250
Roca Extremadamente Fuerte	>250

**Observaciones:**

- La relación de esbeltez y corrección por tamaño de las muestras cumplen con lo especificado en la Norma.
- La MUESTRA ha sido identificada y entregada juntamente con el solicitante. Estos datos se aplican solo a las muestras indicadas.
- Este documento no podrá ser reproducido total ni parcialmente sin La autorización de los laboratorios de la FIM UNA Puno.

**Tipos de Rotura**

<b>A (Diametrales)</b>	
<b>B (Axiales)</b>	
<b>C (Bloque)</b>	
<b>D (No válidos)</b>	

## **ANEXO B**

# **Caracterización geomecánica**

COORDENADAS: X: 451,718 Y: 8,383,466 Z: 4855 ESTACIÓN Nº: 1

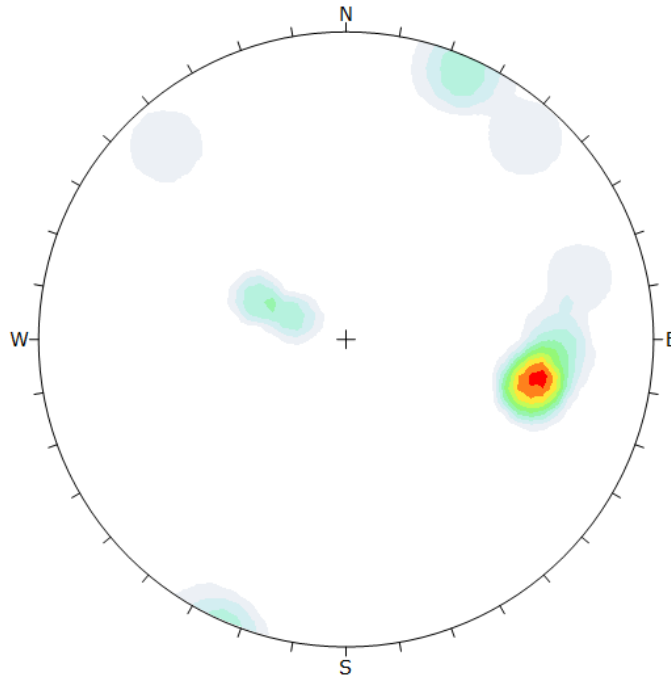
FECHA: nov-16 Calidad de afloramiento:

LITOLOGIA:

FORMACIÓN:

METEORIZACION: Grado I

RESISTENCIA: R6 = Extremadamente dura



Color	Density Concentrations
	0.00 - 3.40
	3.40 - 6.80
	6.80 - 10.20
	10.20 - 13.60
	13.60 - 17.00
	17.00 - 20.40
	20.40 - 23.80
	23.80 - 27.20
	27.20 - 30.60
	30.60 - 34.00
Maximum Density 33.02%	
Contour Data	Pole Vectors
Contour Distribution	Fisher
Counting Circle Size	1.0%
Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	18 (18 Entries)
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Angle

Martillo Schmidt							Media
Juntas	22	34	38	34	24	38	31.5
	33	38	26	28			
JCS (Kg/cm2)							

Fracturas/metro	$\lambda$	3
Juntas/m3	Jv	
Ensayo Tilt-test	$\phi$ básico	

FOTOGRAFIA DE LA ESTACIÓN GEOMECÁNICA



## FICHA DE ESTACION GEOMECÁNICA 01

MEDIDAS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Tipo de Plano	J1	J2	J3	J4	J5	J6	J7	J8	J9	J10	J11	J12	J13	J14	J15	J16			
Azimut	275	255	268	280	285	285	287	282	206	201	222	110	115	137	115	114			
Buzamiento	70	76	68	66	64	63	65	61	88	86	82	23	18	81	34	36			
<b>ESPACIADO</b>																			
> 2000 mm																			
600 - 2000 mm					X				X	X									
200 - 600 mm	X	X	X	X		X	X	X			X	X	X	X	X	X			
60 - 200 mm																			
< 60 mm																			
<b>CONTINUIDAD</b>																			
< 1 m																			
1-3 m																			
3-10 m	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X			
10-20 m																			
>20 m																			
<b>APERTURA</b>																			
Nada																			
< 0,1 mm																			
0,1-1,0 mm																			
1-5 mm	X			X	X	X		X					X						
> 5 mm		X	X				X	X	X	X	X	X		X	X	X			
<b>RUGOSIDAD</b>																			
Ondulación																			
JRC																			
<b>METOR. JUNTA</b>																			
Grado																			
<b>AGUA</b>																			
Seco	X													X					
Liq. humedo			X			X					X	X	X						
Humedo		X		X			X	X	X						X	X			
Goteando					X					X									
Fluyendo																			
<b>RELLENO</b>																			
Naturaleza																			
Espesor mm																			

### CARACTERIZACIÓN DEL MACIZO ROCOSO - RMR (Bieniawski 1989)

**OBTENCIÓN RMR BÁSICO**

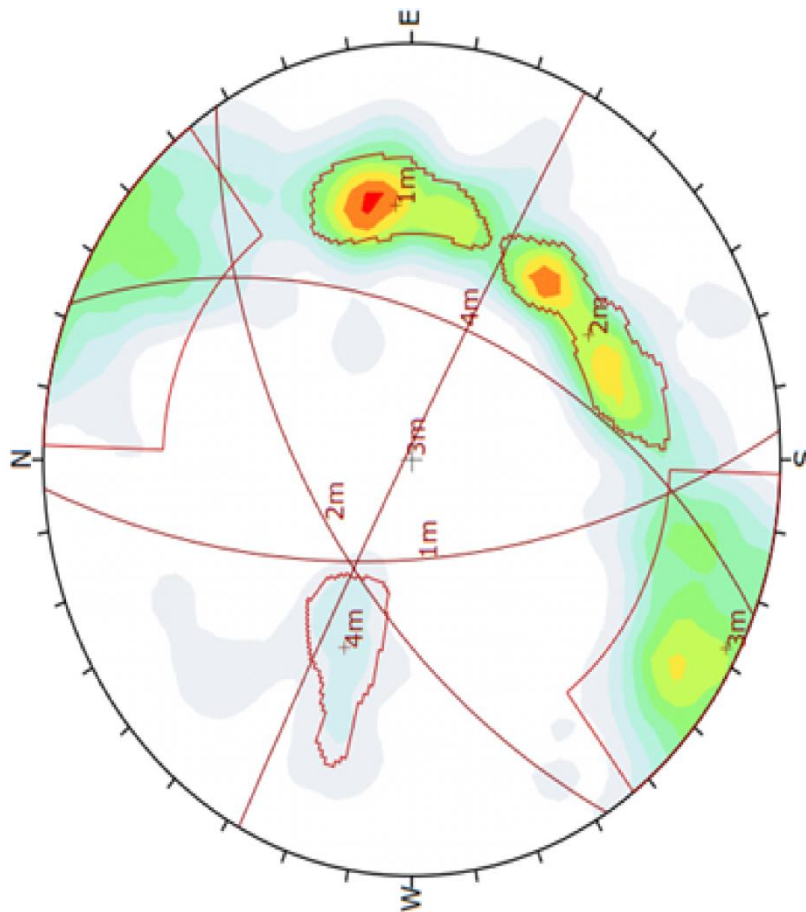
		VALORACIÓN MÍNIMA		VALORACIÓN MÁXIMA		
		DATOS	VAL.	DATOS	VAL.	
<b>RMR 1</b>	Resistencia a compr. simple (MPa)					
	Martillo de geólogo	Grado III (Comp. Simple 25-50 MPa)	4	Grado III (Comp. Simple 25-50 MPa)	4	
<b>RMR 2</b>	Fracturas/metro lineal (λ)	17		12		
	RQD	49	10	66	13	
<b>RMR 3</b>	Espaciado (mm)	30	6	60	6	
<b>RMR 4</b>	Estado de las juntas	Persistencia	1-3 m	4	1-3 m	4
		Apertura	1-5 mm	1	< 0,1 mm	5
		Rugosidad	Suave	1	Suave	1
		Relleno	Relleno blando < 5 mm	2	Ninguno	6
		Alteración	Muy alterado	1	Moderadamente alterado	3
	<b>Suma</b>		9		19	
<b>RMR 5</b>	Presencia de agua	Estado Ligeram. húmedo	10	Estado Ligeram. húmedo	10	
		<b>Total</b>	<b>39</b>	<b>Total</b>	<b>52</b>	

**RMR Básico**    39    a    52

### CARACTERIZACIÓN DEL MACIZO ROCOSO - Q (Barton 2002)

<b>RQD</b>	49 - 66	<b>Jr</b>	1 - 1	<b>Jw</b>	0.66 - 0.66
<b>Jn</b>	9 - 9	<b>Ja</b>	4 - 2		
<b>RQD/Jn</b>	5.5 - 7.4	<b>Jr/Ja</b>	0.3 - 0.5		

**Q Básico**    0.9    a    2.4



Color	Density Concentrations
	0.00 - 0.70
	0.70 - 1.40
	1.40 - 2.10
	2.10 - 2.80
	2.80 - 3.50
	3.50 - 4.20
	4.20 - 4.90
	4.90 - 5.60
	5.60 - 6.30
	6.30 - 7.00

Maximum Density	6.40%
Contour Data	Pole Vectors
Contour Distribution	Fisher
Counting Circle Size	1.0%

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	593 (593 Entries)
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Angle

Project

CARACTERIZACION GEOTECNICA Y MODOS DE FALLA ESTRUCTURAL EN EL TALUD EN ROCA PIZARRA

Analyze Description

DENSIDAD DE POLOS

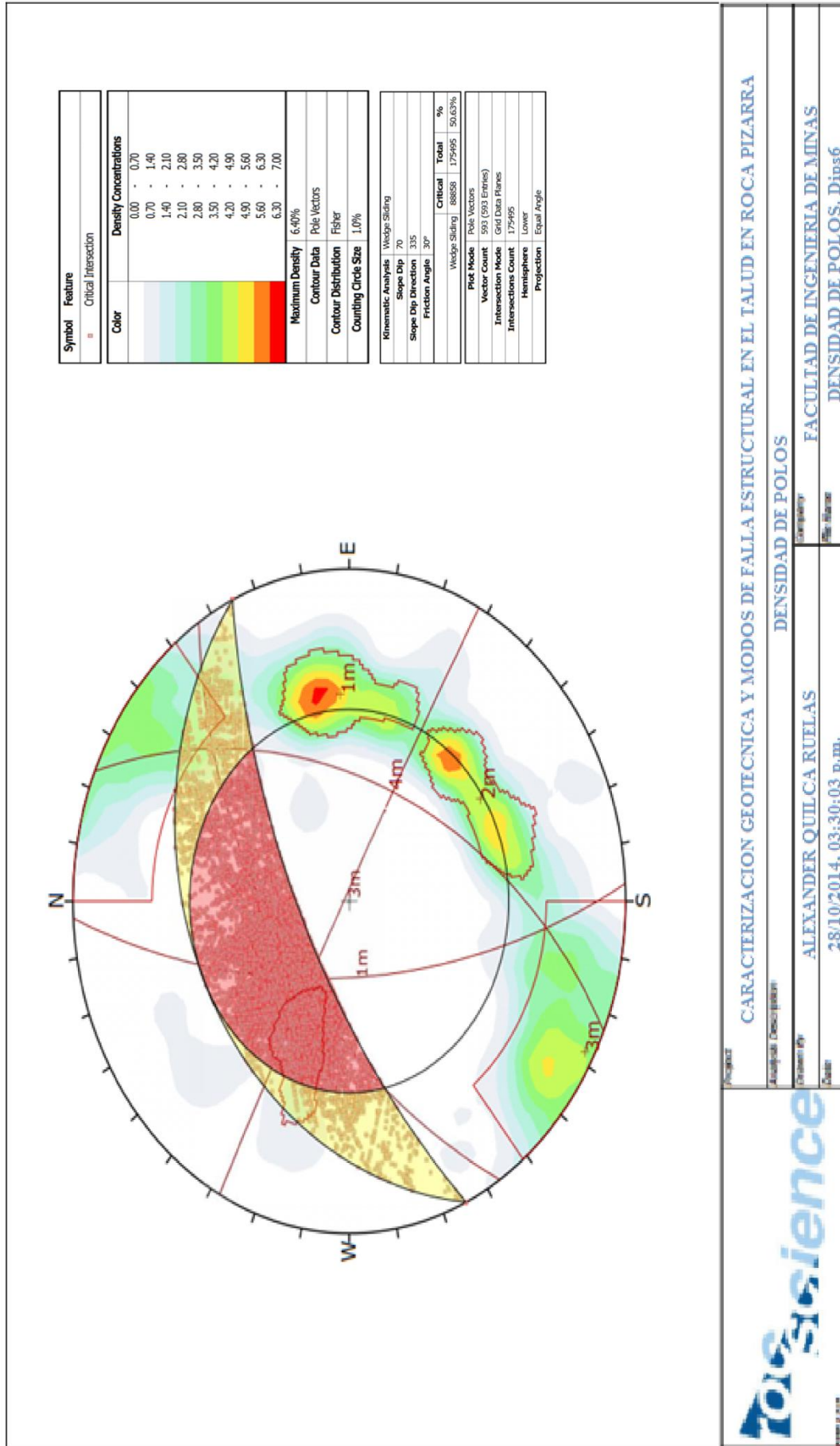
Drawn by ALEXANDER QUILCA RUELAS

Company FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS

Date 21/11/2016, G3:41:45 p.m.

File Name DENSIDAD DE POLOS.dips6





**Project:** CARACTERIZACION GEOTECNICA Y MODOS DE FALLA ESTRUCTURAL EN EL TALUD EN ROCA PIZARRA

**Project Description:** DENSIDAD DE POLOS

**Author:** ALEXANDER QUILCA RUELAS

**Date:** 28/10/2014, 03:30:03 P.M.

**Company:** FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS

**File Name:** DENSIDAD DE POLOS. Dips6





## **ANEXO C**

### **Diseño de concretos**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
 LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETOS Y PAVIMENTOS  
 SUPERVISOR: ING. LUIS SUCASACA  
 EJECUTA: MINERA MINARVA

**LABORATORIO MECANICA DE SUELOS CONCRETOS Y PAVIMENTOS**

OBRA : VACEADO DE FALSO TUNEL SOLICITANTE : MINERA MINARVA UBICACION : LUNAR DE ORO	TECNICO : M.T.A.M. INSP RESP. : E.G.A. FECHA : Enero del 2017 REG. No : 017- 010
---	---

**RESISTENCIA A LA COMPRESION DEL CONCRETO**  
VEREDAS

DISEÑO  $f_c =$  210 Kg/cm<sup>2</sup>

REG. Nº	ESTRUCTURA	ELEMENTO	DESCRIPCION	PLANTA	FECHA		EDAD (Días)	AREA DE PROBETA (cm <sup>2</sup> )	SLUMP (pulg)	LECTURA DIAL (Kg)	RESISTENCIA (Kg/cm <sup>2</sup> )	PROMEDIO 3 VALORES (Kg/cm <sup>2</sup> )	% RESISTENCIA OBTENIDA	RESISTENCIA REQUERIDA %
					MOLDEO	ROTURA								
008	FALSO TUNEL	CONCRETO	VACIADO	MINERA MINARVA	11/01/2017	08/02/2017	28	185.2	3 1/2	39123.0	210.1	214.2	102.0%	100.0%
009					183.4	38621.0		210.6						
010					175.8	39023.0		222.0						

n	3
Xp	214.2
MIN	210.1
MAX	222.0
DESV. ESTANDAR	6.7
WARIANZA	45.1
COEF. VARIACION	3.14



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA**  
**LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES**



**DISEÑO DE MEZCLAS**

CONCRETO  $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$

METODO: MODULO DE FINEZA

DISEÑO REALIZADO CON UNA RELACIÓN AGUA / CEMENTO: POR DURABILIDAD

PROYECTO :	CONSTRUCCION DE FALSO TUNEL
SOLICITANTE:	MINERA MINARVA
UBICACIÓN :	LUNAR DE ORO
LUGAR :	ANA MARIA
MUESTRA :	CANtera DE RIO CABANILLA
MARGEN :	MARGEN DERECHA
COMUNIDAD :	TECNICO LAB. : PERS. LAB.
DISEÑO :	$f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$ FECHA : 15 DE SETIEMBRE 2016

**CARACTERISTICAS DE LOS MATERIALES**

DESCRIPCION	UNIDAD	CEMENTO	AGREGADOS	
			FINO	GRUESO
PROCEDENCIA :		RUMI TIPO IP		
TAMAÑO MAXIMO	Pulg		Nº 4	1"
PESO ESPECIFICO	gr/cc	3.11	2.32	2.42
PESO UNITARIO SUELTO	Kg/m3		1620	1521
PESO UNITARIO COMPACTADO	Kg/m3		1771	1609
CONTENIDO DE HUMEDAD	%		4.30	1.14
ABSORCION	%		3.62	2.58
MODULO DE FINEZA			3.48	7.05

**DOSIFICACION**

$f'c$ PROM.	f'm	SLUMP	AGUA	AIRE TOTAL	Agua/cem	Factor cem	Factor cem.	mf
$f'cr$ (Kg/m2)	pulg	(pulg)	(lit/m3)	(%)	A/C	FC (Kg/m3)	FC (bol/m3)	Comb. De Agreg
294	1"	3" - 4"	175	5.0	0.47	372.34	8.76	5.471

**CALCULO DE LOS VALORES RELATIVOS DEL MODULO DE FINEZA**

CALCULO DE RF	44.31
VOLUMEN ABSOLUTO DE LOS AGREGADOS	0.655

**DOSIFICACIÓN EN PESO**

DESCRIPCION	VOLUM. ABSOLUTOS	PESOS SECOS/M3	HUMEDAD	PESOS KG/M3	PROPORCION
CEMENTO	0.120	372.340		372.34	1.00
AGREGADO FINO	0.290	673.703	4.6	702.68	1.89
AGREGADO GRUESO	0.365	884.618	-12.8	894.67	2.40
AGUA	0.175	175.000	-8.1	183.14	
AIRE	0.050				
ACELERANTE SIKA 3				27,45 L	15% DE VOLUMEN DE AGUA
INCORPORADOR DE AIRE					0,05 X 100KG DE CEMENTO
CHEMA				186 ML	
AGUA EFECTIVA PARA LA MEZCLA				155.50	

Rel A/C Efectiva	0.42
------------------	------

**DOSIFICACION EN VOLUMEN**

DESCRIPCION	EN P3	PROPORCION
CEMENTO	8.761	1.00
AGREGADO FINO	15.319	1.75
AGREGADO GRUESO	20.767	2.37
AGUA SIN ADITIVOS	20.904	
ACELERANTE		3,13L/P3
INCORPORADOR		20,2ML/P3
AGUA		17,74L/P3

OBSERVACION : PARA EL CALCULO DE CANTIDAD DE INCORPORADOR DE AIRE ( 0,05\*PESO DEL CEMENTO/100\*1000/1,052 (ML TENER CONTROL ESTRICTO DEL SLUMP 3" A 4", PARA OBTENER MAYOR EFICIENCIA DE LOS ADITIVOS



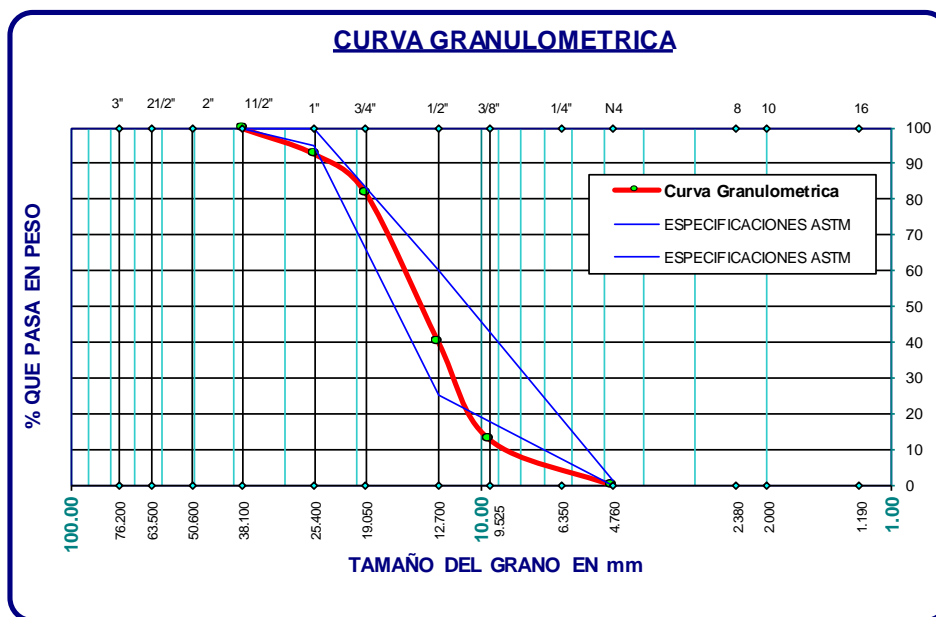
**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA**  
**LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES**



**ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO (ASTM D422)**  
**ENSAYOS ESTANDAR DE CLASIFICACION ( D2216 - D854 - D4318 - D427 - D2487 )**

PROYECTO	: CONSTRUCCION DE FALSO TUNEL
SOLICITANTE:	MINERA MINARVA
UBICACIÓN	: LUNAR DE ORO
LUGAR	: ANA MARIA
MUESTRA	: CANTERA DE RIO CABANILLA
MARGEN	: MARGEN DERECHA
COMUNIDAD	: TECNICO LAB. : PERS. LAB.
DISEÑO	: F' C=210 Kg/cm2
	FECHA : 15 DE SETIEMBRE 2008

TAMICES ASTM	BERTURA mm	PESO RETENIDO	RETENIDO PARCIAL	%RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	ESPECIF. STM C-33-5	TAM AÑO MAXIMO: 1" DESCRIP. DE LA MUESTRA
3"	76.200						P.M 2179.00
2 1/2"	63.500						
2"	50.600						
1 1/2"	38.100	0.00	0.00	0.00	100.00	100 100	
1"	25.400	157.00	7.21	7.21	92.79	95 100	
3/4"	19.050	238.00	10.92	18.13	81.87		
1/2"	12.700	904.00	41.49	59.61	40.39	25 60	
3/8"	9.525	598.00	27.44	87.06	12.94		
1/4"	6.350						
No4	4.760	282.00	12.94	100.00	0.00	0 10	
No8	2.380						
No10	2.000						
No16	1.190						
No20	0.840						
No30	0.590						
No40	0.420						
No50	0.300						
No60	0.250						
No80	0.180						
No100	0.149						
No200	0.074						
BASE							MODULO DE FINEZA : 7.05
TOTAL		2179.00	100.00				
% PERDIDA							





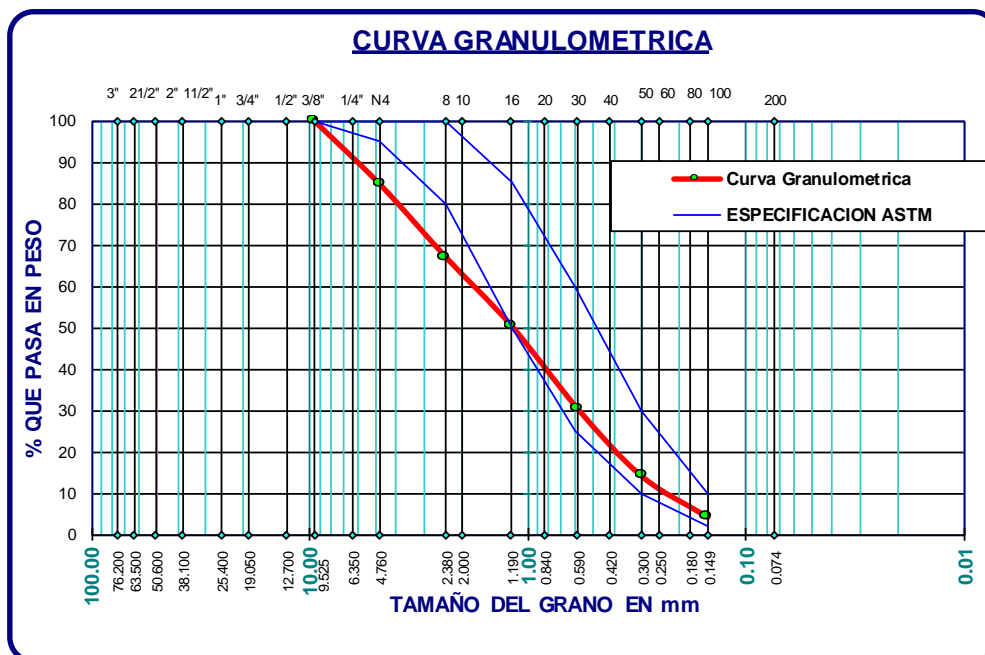
**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
 FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
 LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES



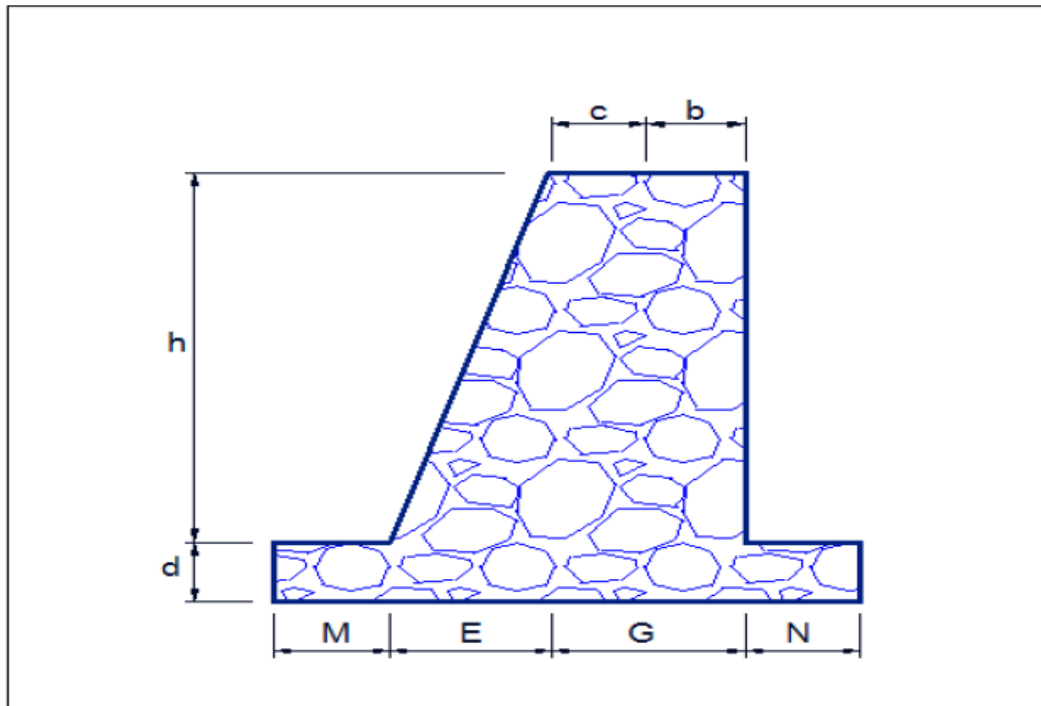
**ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO (ASTM D422)**  
**ENSAYOS ESTANDAR DE CLASIFICACION (D2216 - D854 - D4318 - D427 - D2487)**

PROYECTO : CONSTRUCCION DE FALSO TUNEL	TECNICO LAB. : PERS. LAB.
SOLICITANTE: MINERA MINARVA	FECHA : 15 DE SETIEMBRE 2008
UBICACIÓN : LUNAR DE ORO	
LUGAR : ANA MARIA	
MUESTRA : CANTERA DE RIO CABANILLA	
MARGEN : MARGEN DERECHA	
COMUNIDAD :	
DISEÑO : F'C=210 Kg/cm2	

TAMICES ASTM	BERTURA mm	PESO RETENIDO	%RETENIDO PARCIAL	%RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	ESPECIF. ASTM	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
3"	76.200						P.L. 717.01 P.S. 737.00
2 1/2"	63.500						
2"	50.600						
1 1/2"	38.100						
1"	25.400						
3/4"	19.050						
1/2"	12.700						
3/8"	9.525	0.00	0.00	0.00	100.00	100	
1/4"	6.350						
No4	4.760	113.00	15.33	15.33	84.67	95 100	
No8	2.380	129.00	17.50	32.84	67.16	80 100	
No10	2.000						MODULO DE FINEZA : 3.48
No16	1.190	122.00	16.55	49.39	50.61	50 85	
No20	0.840						EL MODULO DE FINEZA ENTRE 2.8 Y 3.2 SON RECOMENDABLES PARA OBTENER ALTAS RESISTENCIAS
No30	0.590	148.00	20.08	69.47	30.53	25 60	
No40	0.420						El modulo de fineza debe de estar dentro de los limites de 2.35 - 3.15, no debiendo excederse el limite en mas o menos 0.2 Max 3.35
No50	0.300	120.00	16.28	85.75	14.25	10 30	
No60	0.250						
No80	0.180						
No100	0.149	73.00	9.91	95.66	4.34	2 10	
No200	0.074	12.01	1.63	97.29	2.71		
BASE		19.99	2.71	100.00	0.00		
TOTAL		737.00	100.00				
% PERDIDA							



**DISEÑO DE MURO DE CONCRETO CICLOPEO**



**DATOS:**

ALTURA DE ZAPATA CIMENTACION (m)	d =	0.50
TIPO DE TERRENO (Kg/cm <sup>2</sup> )	δ =	2.13
ANCHO DEL MURO (m)	A =	4.00
ALTURA DEL MURO (m)	h =	4.00
ANGULO DE FRICCION INTERNA (grados)	φ =	32.00
ALTURA EQUIV. DE SOBRE CARGA (m)	h' =	0.00
PESO ESPECIF. RELLENO (Tn/m <sup>3</sup> )	γ <sub>1</sub> =	1.69
PESO ESPECIF. CONCRETO (Tn/m <sup>3</sup> )	γ <sub>2</sub> =	2.30

M =	1.60
N =	1.10
E =	0.35
G =	0.35
a =	0.00
b =	0.15
c =	0.20
B =	3.40

C =  $\text{TAN } 2(45-\phi/2) = 0.31$

**ANALISIS DE ESTABILIDAD EN LA SECCION SUPERIOR**

Empuje del terreno:

$$\begin{aligned}
 H &= 2.00 \\
 h' &= 0.00 \\
 C &= 0.31 \\
 E &= 0,5 * W * h (h + 2h') * C = 1.035 \text{ Tn} \\
 E_v &= E * \text{Sen}(\alpha/2) = 0.285 \text{ Tn} \\
 E_h &= E * \text{Cos}(\alpha/2) = 0.995 \text{ Tn}
 \end{aligned}$$

Punto de aplicación de empuje Ea:

$$D_h = h * (h + 3h') / (h + 2h') / 3 = 0.67 \text{ m}$$

Fuerzas verticales actuantes:

	Pi(tn)	Xi(m)	Mi(Tn-m)
P1	1.380	0.625	0.863
P2	1.840	0.45	0.828
P3	1.610	0.23	0.376
Ev	0.285	0.67	0.190
<b>Total</b>	<b>5.115</b>		<b>2.256</b>

$$\begin{aligned}
 X_v &= M_t / P_t = 0.44 \text{ m} \\
 Z &= E_h * D_h / P_t = 0.13 \text{ m} \\
 e &= b/2 - (X_v - Z) = 0.04 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Esfuerzo a compresión del concreto  $F_c = 0,4(F_c)$   
 $F_c = 400 \text{ Tn/m}^2$

**VERIFICACIONES:**

1.- Verificación de compresión y tracción

$$P = F_v (1 + 6e/b) / (a * b) = 9.73 < F_c \quad \text{CONFORME}$$

2.- Chequeo al volteo

$$F_{SV} = M_t / (E_h * D_h) = 3.40 > 2 \quad \text{CONFORME}$$

3.- Chequeo al Deslizamiento

$$F_{SD} = P_t * f / E_h = 3.60 > 2 \quad \text{CONFORME}$$

**ANALISIS DE ESTABILIDAD EN LA SECCION INFERIOR**

$$\begin{aligned}
 B &= 3.4 \\
 H &= 4.50 \\
 h' &= 0.00 \\
 C &= 0.31 \\
 E &= 0,5 * W * h (h + 2h') * C = 5.242 \\
 E_v &= E * \text{Sen}(\alpha/2) = 1.445 \\
 E_h &= E * \text{Cos}(\alpha/2) = 5.039
 \end{aligned}$$

Punto de aplicación de empuje Ea:

$$D_h = h * (h + 3h') / (h + 2h') / 3 = 1.50$$

**Fuerzas verticales actuantes:**

	Pi(tn)	Xi(m)	Mi(Tn-m)
P1	1.380	2.225	3.071
P2	1.840	2.05	3.772
P3	1.610	1.83	2.952
P4	3.910	1.7	6.647
P5	4.400	2.85	12.540
Ev	1.445	3.40	4.913
<b>Total</b>	<b>14.585</b>		<b>33.894</b>

$X_v = M_t / P_i$                       2.324 m

$Z = E_h * D_h / P_i$                       0.518 m

$e = b/2 - (X_v - Z)$                       -0.106 m

$e < b/6$                                        $b/6 = 0.567$   
**CONFORME**

**VERIFICACIONES:**

**1.- Verificación de compresión y tracción**

$P = F_v ( 1 + 6e/b ) / ( a * b )$                       3.49 < δ                      **CONFORME**

**2.- Chequeo al volteo**

$FSV = M_i / ( E_h * D_h )$                       4.48 > 2                      **CONFORME**

**3.- Chequeo al Deslizamiento**

$FSD = P_i * f / E_h$                       2.03 > 2                      **CONFORME**

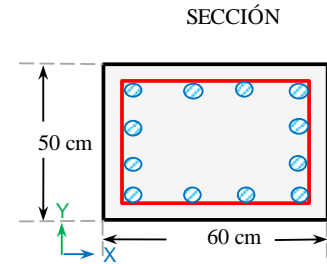


## **ANEXO D**

### **Diseño de esfuerzos**

### DETERMINACIÓN DEL REFUERZO TRANSVERSAL

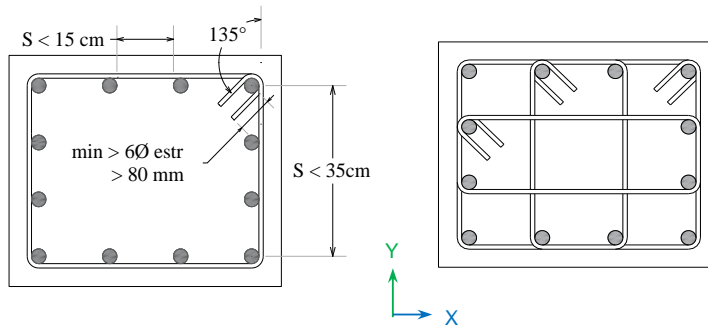
$P_u = 120.00 \text{ Ton}$	$f'_c = 250.00 \text{ kg/cm}^2$
$V_u = 50.00 \text{ Ton}$	$A_s = 95.28 \text{ cm}^2$
$r \text{ libre} = 4.00 \text{ cm}$	$A_g = 3000.00 \text{ cm}^2$
$H = 3.00 \text{ m}$	Estribos 3
$F_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$	$\phi = 0.95 \text{ cm}$
	$A_{\text{est}} = 0.71 \text{ cm}^2$
	#Varilla: 10
	$\phi = 3.18 \text{ cm}$
	$A_{\text{varilla}} = 7.94 \text{ cm}^2$
	$r = 6.54 \text{ cm}$



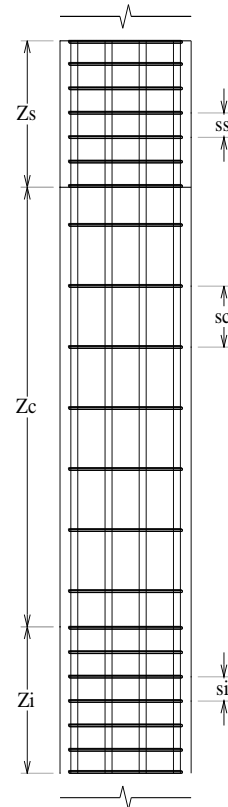
$V_u < 2F_R b d \sqrt{f'_c}$	$P_u > A_g f'_c / 10$
$V_u < 67.73 \text{ Ton}$ <span style="border: 1px solid green; padding: 2px;">Ok</span>	$P_u > 75.00 \text{ Ton}$ <span style="border: 1px solid green; padding: 2px;">Ok</span>

### Columna de primer nivel

	Zona de confinamiento			Separación de Estribos	
	b máx			bmin/4	
Superior	b máx	0.60 m	Ss	bmin/4	12.50 cm
	H/6	0.50 m		6db	25.00 cm
	600 mm	0.60 m		100 mm	10.00 cm
Central		0.90 m	Sc	850 db/ $\sqrt{f_y}$	41.71 cm
				48Ø estribo	45.60 cm
				b mín/2	25.00 cm
Inferior	L/2	1.50 m	Si	100 mm	10.00 cm



$S_x = 15.64 \text{ cm}$	<span style="border: 1px solid green; padding: 2px;">Ok</span>
$S_y = 12.31 \text{ cm}$	<span style="border: 1px solid green; padding: 2px;">Ok</span>
gancho = 8.00 cm	



## REVISIÓN DEL CORTANTE

$$P_u < F_R (0.7 f_c^* A_g + 2000 A_s)$$

$$V_u = 50.00 \text{ Ton}$$

$$F_r = 0.7$$

$$P_u = 427.39 \text{ T} \quad \text{Ok}$$

$$\rho = 0.011$$

$$V_{CR} = 12.15 \text{ Ton}$$

$$\text{Factor} = 1.28$$

$$V_{CR} = 15.55 \text{ Ton}$$

$$V_{SR} = 34.45 \text{ Ton}$$

$$\text{si } \rho < 0.015$$

$$V_{CR} = F_R b d (0.2 + 20\rho) \sqrt{f_c^*}$$

$$\text{si } \rho \geq 0.015$$

$$V_{CR} = 0.5 F_R b d \sqrt{f_c^*}$$

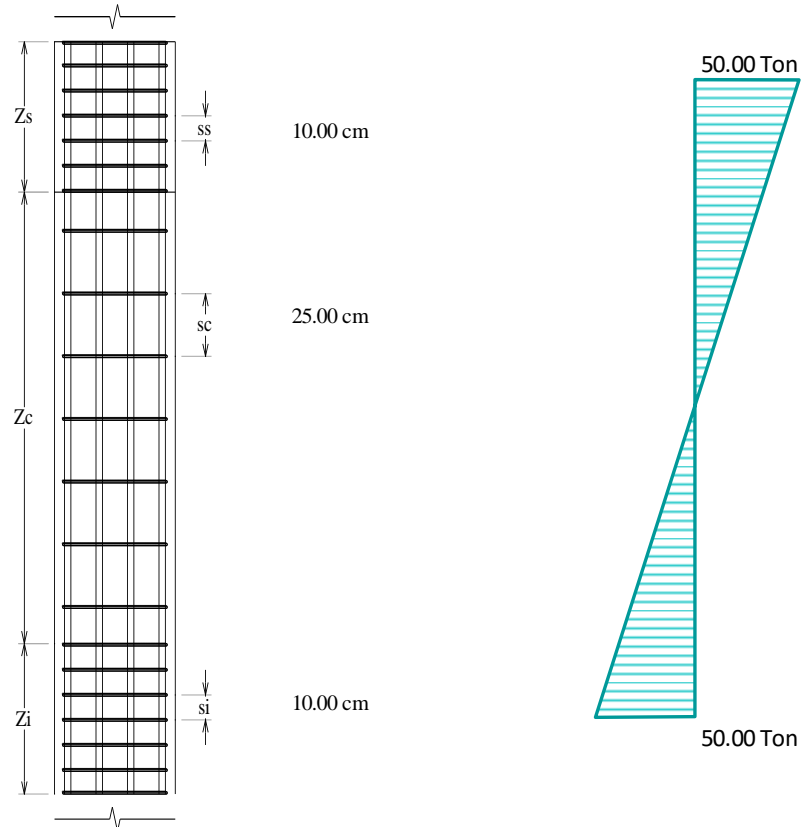
$$1 + 0.007 * \frac{P_u}{A_g}$$

$$F_{yh} = 4200.00 \text{ kg/cm}^2$$

$$A_{sh} = 2.84$$

$$s = \frac{F_R A_v f_y d (\text{Sen}\theta + \text{cos}\theta)}{V_{SR}}$$

$$s = 12.04 \text{ cm}$$



# **ANEXO E**

## **plano estructural y topográfico**

# **Plano geológico superficial G-B1**

## **Plano topográfico de labores mineras 01**