

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS**



**“ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES EN EL PORTAL DE INGRESO  
Y SALIDA DEL TÚNEL PUMAMAYO Y EN EL ALIVIADERO DE DEMASÍAS  
EN LA PRESA PUMAMAYO”**

**TESIS**

**PRESENTADA POR:**

**JUAN GUALBERTO TAYPE UMASI**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO DE MINAS**

**PROMOCIÓN 2011**

**PUNO – PERÚ**

**2017**



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

**TESIS**

**“ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES EN EL PORTAL DE INGRESO Y SALIDA DEL TÚNEL PUMAMAYO Y EN EL ALIVIADERO DE DEMASÍAS EN LA PRESA PUMAMAYO”**

**PRESENTADA POR:**

**JUAN GUALBERTO TAYPE UMACASI**

A la Dirección de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería de Minas de la Universidad Nacional del Altiplano como requisito.

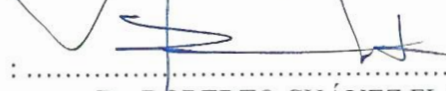
**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**


**INGENIERO DE MINAS**


**FECHA DE SUSTENTACIÓN: 09 DE MAYO DEL 2017**

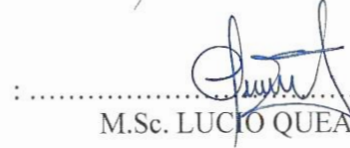
APROBADA POR EL JURADO REVISOR CONFORMADO POR:

PRESIDENTE DEL JURADO : .....  .....  
 Dr. JUAN MAYHUA PALOMINO

PRIMER MIEMBRO : .....  .....  
 Dr. ROBERTO CHÁVEZ FLORES

SEGUNDO MIEMBRO : .....  .....  
 Ing. ESTEBAN AQUINO ALANOCA

DIRECTOR : .....  .....  
 Dr. OSCAR LLANQUE MAQUERA

ASESOR : .....  .....  
 M.Sc. LUCIO QUEA GUTIERREZ

**ÁREA:** Ingeniería de minas.  
**TEMA:** Estabilidad de taludes.

## DEDICATORIA

En memoria de mi señor padre Apolinar Taype, quien no dudo en su apoyo continuo en mi formación y doña Benedicta Umayasi, quien me dio y me sigue dando su apoyo incondicional en todo momento.

A Danny Roció, compañera inseparable de cada jornada, ella representa esfuerzo y motivación en momentos de desaliento y fatiga. A mi hija Alinne Valentina por ser el motor y la razón de mi vida.

Y como olvidar con todo cariño y afecto a mis hermanos Pablo, Stefany, Vicky, Filberto, María y Yesenia quienes me apoyaron en momentos cruciales en la culminación de este objetivo.

## AGRADECIMIENTO

- Ante todo mi agradecimiento a Dios, por haberme acompañado y guiado a lo largo de mi carrera, por ser mi fortaleza en los momentos de debilidad y por brindarme una vida llena de aprendizajes, experiencias y sobre todo felicidad.
- Mi agradecimiento a mi alma mater, la Universidad Nacional del Altiplano – Puno, por haberme dado la oportunidad para formarme como Ingeniero de Minas. A la Facultad de Ingeniería de Minas, a sus autoridades, docente y personal administrativo, quienes pudieron guiarme con éxito en mi formación académica.
- Mi agradecimiento también a los señores Miembros del Jurado, Director y Asesor del presente proyecto de investigación, por sus acertadas observaciones, sugerencias para el desarrollo y la culminación de este proyecto.
- Mi reconocimiento a la Empresa INMICONS Gold Star Rock Drill S.A.C., por su apoyo y disposición para la ejecución del presente trabajo de investigación.
- Por último, a mis compañeros y amigos con quienes compartí grandes momentos de mi vida durante mi permanencia en mí querida universidad.

Gracias a todos.

**ÍNDICE GENERAL**

	<b>Pág.</b>
RESUMEN .....	12
ABSTRACT.....	13
INTRODUCCIÓN .....	14

**CAPÍTULO I****PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

1.1. DESCRIPCIÓN DE REALIDAD PROBLEMÁTICA.....	16
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	17
1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	18
1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	18
1.5. LIMITACIONES DEL ESTUDIO .....	19
1.6. VIABILIDAD DEL ESTUDIO .....	19

**CAPÍTULO II****MARCO TEÓRICO**

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	21
2.2. BASES TEÓRICAS.....	25
2.3. DEFINICIONES CONCEPTUALES .....	58
2.4. HIPÓTESIS.....	63

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

3.1. DISEÑO METODOLÓGICO.....	64
3.2. POBLACIÓN.....	64
3.3. MUESTRA.....	65
3.4. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES .....	65
3.5. TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS .....	67

3.6.	TÉCNICAS PARA EL PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN .....	68
------	--	----

## CAPÍTULO IV

### CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

4.1.	GENERALIDADES .....	69
4.2.	CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA.....	70
4.3.	CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA DEL MACIZO ROCOSO.....	74
4.4.	PROPIEDADES DE LA ROCA INTACTA .....	76
4.5.	CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA DEL MACIZO ROCOSO.....	83
4.6.	RESISTENCIA, MÓDULO DE DEFORMACIÓN Y CAPACIDAD ADMISIBLE DEL MACIZO ROCOSO .....	88

## CAPÍTULO V

### RESULTADOS Y DISCUSIONES

5.1.	PARÁMETROS DE RESISTENCIA Y PROPIEDADES FÍSICAS DEL MACIZO ROCOSO.....	93
5.2.	ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES .....	95
5.3.	ESTABILIDAD GLOBAL .....	108
	CONCLUSIONES .....	111
	RECOMENDACIONES.....	1115
	BIBLIOGRAFÍA .....	117
	ANEXOS .....	119

## ÍNDICE DE FIGURAS

		Pág.
Figura 2.1.	Clasificación de los métodos de cálculo .....	29
Figura 2.2.	Disposición de discontinuidades en el estereograma para un modo de falla planar.....	30
Figura 2.3.	Disposición de discontinuidades en el estereograma para un modo de falla por cuña.....	31
Figura 2.4.	Disposición de discontinuidades en el estereograma para un modo de falla por vuelco de bloques. ....	31
Figura 2.5.	Disposición de discontinuidades en el estereograma para un modo de falla circular. ....	32
Figura 2.6.	Representación de la envolvente de Mohr-Coulomb en el espacio de tensiones normal y tangencial. ....	36
Figura 2.7.	Representación del criterio de rotura de Hoek & Brown, en el espacio de tensiones normal y tangencial. ....	37
Figura 2.8.	Guías para la estimación del factor de alteración del criterio de rotura de Hoek & Brown, $D$ . ....	39
Figura 2.9.	Procedimiento de medición y cálculo del RQD.....	42
Figura 2.10.	Tabla grafica de GSI general.....	46
Figura 2.11.	Carta para evaluar el índice de resistencia geológica en macizos rocosos estratificados y heterogéneos. ....	47
Figura 2.12.	Definición ilustrativa de un macizo rocoso (a) y estructura (b) del macizo rocoso.....	59
Figura 4.1.	Proyección estereográfica de las discontinuidades .....	74
Figura 4.2.	Proyección estereográfica de las discontinuidades .....	82
Figura 5.1.	Esquema Simplificado de los Taludes de Corte: Portal de Entrada.....	96
Figura 5.2.	Esquema Simplificado de los Taludes de Corte: Portal de Salida .....	96
Figura 5.3.	Ejemplo de principales familias en la Estación Geomecánica 07 A.....	97
Figura 5.4.	Ejemplo del análisis de falla en el Portal de Entrada del túnel (63°) – Talud Frontal (EG-10A).....	100
Figura 5.5.	Ejemplo del análisis de falla en el Aliviadero – Talud izquierdo (63°) (EG-05A).....	100
Figura 5.6.	Análisis de falla planar en el Túnel – Portal de Entrada – Talud Frontal (63°) – en condiciones estáticas.....	104
Figura 5.7.	Análisis de falla tipo cuña en el Túnel – Portal de Entrada – Talud derecho en condiciones estáticas (Fam 1 y 2).....	105
Figura 5.8.	Análisis de estabilidad global en el Portal de entrada del túnel – Talud frontal en condiciones estáticas.....	110

**ÍNDICE DE CUADROS**

	<b>Pág.</b>
Cuadro 2.1. Lagunas actualmente reguladas.....	22
Cuadro 2.2. Clasificación de la calidad del macizo rocoso según el índice RQD .....	42
Cuadro 2.3. Clasificación RMR. Bieniawsky (1989) .....	44
Cuadro 2.4. Clasificación de Barton de los macizos rocosos. Índice de Calidad Q. ..	48
Cuadro 2.5. Clasificación de parámetros individuales usados en el Índice de Calidad Tunelera Q. ....	49
Cuadro 2.6. Factor de ajuste para las juntas.....	54
Cuadro 2.7. Factor de Ajuste Según el Método de Excavación.....	55
Cuadro 2.8. Clases de Estabilidad Según el SMR. ....	56
Cuadro 2.9. Valores límites del SMR encontrados empíricamente para cada forma de rotura .....	57
Cuadro 2.10. Parámetros de corrección F1, F2, F3 y F4 de la clasificación SMR.....	57
Cuadro 3.1. Variables e indicadores .....	66
Cuadro 4.1. Coordenadas de ubicación del proyecto.....	69
Cuadro 4.2. Coordenadas de ubicación del proyecto.....	70
Cuadro 4.3. Columna lito-estratigráfica área del Proyecto.....	71
Cuadro 4.4. Estaciones geomecánicas .....	75
Cuadro 4.6. Sondeo diamantino ejecutado .....	76
Cuadro 4.7. Estaciones geomecánicas .....	76
Cuadro 4.8. Gravedad específica – Estaciones geomecánicas.....	77
Cuadro 4.9. Gravedad específica – Perforaciones diamantinas .....	77
Cuadro 4.10. Resistencia a compresión simple – Estaciones geomecánicas .....	79
Cuadro 4.11. Resistencia a compresión simple – Perforaciones diamantinas .....	79
Cuadro 4.12. Condiciones de las discontinuidades – Estaciones geomecánicas .....	81
Cuadro 4.13. Orientación de las discontinuidades.....	83
Cuadro 4.14. Valores de RQD – Estaciones geomecánicas.....	83
Cuadro 4.15. Valores de RQD en los sondeos realizados.....	84
Cuadro 4.16. Clasificación geomecánica de Bieniawski (RMR) .....	85



Cuadro 4.17.	Valores del Índice de resistencia geológica (GSI) .....	85
Cuadro 4.18.	Valores del sistema de clasificación Q.....	86
Cuadro 4.19.	Índice de Barton (Q).....	86
Cuadro 4.20.	Resumen de la clasificación geomecánica – Estaciones geotécnicas .....	87
Cuadro 4.21.	Calidad del macizo rocoso según tipo litológico .....	87
Cuadro 4.22.	Propiedades del macizo rocoso .....	88
Cuadro 4.23.	Valores referenciales de $m_i$ .....	88
Cuadro 4.24.	Parámetros del macizo rocoso para la presa de enrocado .....	91
Cuadro 4.25.	Parámetros del macizo rocoso para el túnel de desvío.....	91
Cuadro 5.1.	Parámetros y propiedades del macizo rocoso .....	94
Cuadro 5.2.	Parámetros de resistencia Macizo Rocosos .....	94
Cuadro 5.3.	Parámetros de resistencia en discontinuidades .....	95
Cuadro 5.4.	Portales de Entrada y Salida de Túnel – Análisis Cinemático – Determinación tipo de falla.....	98
Cuadro 5.5.	Aliviadero – Análisis Cinemático – Determinación tipo de falla .....	99
Cuadro 5.6.	Valoración del SMR.....	101
Cuadro 5.7.	Valor del SMR - Portales de Entrada y Salida de Túnel.....	101
Cuadro 5.8.	Valor del SMR – Secciones del aliviadero .....	101
Cuadro 5.9.	Factores de seguridad – Datos para análisis de Falla Planar – Portales de Entrada y Salida de Túnel .....	103
Cuadro 5.10.	Factores de seguridad – Datos para análisis de Falla Planar – Aliviadero.....	103
Cuadro 5.11.	Factores de seguridad – Datos para análisis de Falla tipo cuña – Portales de Entrada y Salida de Túnel.....	106
Cuadro 5.12.	Factores de seguridad – Datos para análisis de Falla tipo cuña – Aliviadero.....	106
Cuadro 5.13.	Talud de corte – Portales de Entrada y Salida de Túnel .....	107
Cuadro 5.14.	Talud de corte – Sección del aliviadero .....	107
Cuadro 5.15.	Factor de Seguridad en Taludes, analizados globalmente – Portales de Entrada y Salida.....	108
Cuadro 5.16.	Factor de Seguridad en taludes, asumiendo fallamiento secuencial – Portales de Entrada y Salida.....	109

Cuadro 5.17. Factores de seguridad – Datos para análisis de Falla Planar – Portales De Entrada y Salida de Túnel.....	112
Cuadro 5.18. Factores de seguridad – Datos para análisis de Falla Planar – Aliviadero.....	112
Cuadro 5.19. Factores de seguridad – Datos para análisis de Falla tipo cuña – Portales de Entrada y Salida de Túnel.....	113
Cuadro 5.20. Factores de seguridad – Datos para análisis de Falla tipo cuña – Aliviadero.....	113
Cuadro 5.21. Sistema de sostenimiento sugerido final .....	114
Cuadro 5.22. Talud de corte – Portales de Entrada y Salida de Túnel .....	115
Cuadro 5.23. Talud de corte – Sección del aliviadero .....	115
Cuadro 5.24. Relación de la altura de banco y cara de banco.....	116

**ÍNDICE DE ANEXOS**

	<b>Pág.</b>
1. ANEXO A: ANÁLISIS DE DISCONTINUIDADES .....	120
1.1. ANEXO A.1: PRINCIPALES FAMILIAS DE DISCONTIUIDADES .....	120
1.1.1. Principales familias de discontinuidades .....	120
1.1.2. Análisis de tipo de falla en el Túnel Pumamayo.....	124
1.2. ANEXO A.2: ANÁLISIS FALLA POR CUÑA .....	131
1.3. ANEXO A.3: ANÁLISIS FALLA POR PLANAR.....	155
1.4. ANEXO B: ANÁLISIS DE ESTABILIDAD GLOBAL.....	164
1.5. ANEXO C: CÁLCULO DEL SMR.....	176
1.6. ANEXO D: VALORACIÓN DEL MACIZO ROCOSO – CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA RMR .....	185
1.7. ANEXO E: HOJA DE LEVANTAMIENTO GEOMECÁNICO.....	195
1.8. ANEXO F: PLANOS.....	205

## RESUMEN

El objetivo principal del proyecto del embalse Pumamayo es el afianzamiento hídrico del río San Gabán, esto es, el incremento del caudal firme o garantizado y, consiguientemente, el incremento de la producción de energía media anual en el desarrollo hidroenergético de la C.H. San Gabán II así como en la futura C.H. San Gabán III.

Para lograr este fin es que se realiza la construcción de una presa de tipo CRFD (Concrete Faced Rockfill Dams) que está compuesta de un enrocado con cara de concreto, con una capacidad de 32 MMC y una altura de 28.7 m en el río Ajoyajota o Pumamayo; además de un túnel de desvío de 170 m de longitud que permita construir la presa sin riesgo de inundación y también de una obra auxiliar de un canal que servirá de un aliviadero lateral en el estribo derecho de la presa.

Para la construcción del túnel y del aliviadero es que se necesita realizar un análisis adecuado de los taludes naturales presentes en la zona. Se deberán de dar un ángulo adecuado para mantener la estabilidad de los taludes y un reforzamiento adecuado para poder dar la confiabilidad a la construcción.

En el presente trabajo de investigación se realiza un análisis de estabilidad de taludes de roca, mediante la caracterización geomecánica, identificación de los modos de falla y la elección del tipo de sostenimiento más adecuado, tanto en el portal de ingreso y salida del túnel Pumamayo y del aliviadero de demasías de la presa Pumamayo, el modelamiento se realiza en condiciones estáticas y pseudoestática con lo que se logra encontrar un Factor de Seguridad aceptable para la estabilidad de los taludes.

**Palabras clave:** Taludes, estabilidad de taludes, modos de falla, factor de seguridad, estática, pseudoestática, sostenimiento.

## ABSTRACT

The main objective of the pumamayo reservoir project is the water reinforcement of the San Gabán river, that is, the increase of the guaranteed or firm flow and, consequently, the increase of the average annual energy production in the hydroenergetic development of the c.h. san gabán ii as well as in the future C.H. San Gabán III.

In order to achieve this goal, a CRFD (Concrete Faced Rockfill Dams) type dam is constructed, consisting of a concrete face cast with a capacity of 32 MMC and a height of 28.7 m in the Ajoyajota river or Pumamayo; In addition to a tunnel of diversion of 170 m in length that allows to construct the dam without risk of flood and also of an auxiliary work of a channel that will serve as a lateral spillway in the right stirrup of the dam.

For the construction of the tunnel and the spillway, it is necessary to carry out an adequate analysis of the natural slopes present in the area. They must give an adequate angle to maintain the stability of the slopes and a suitable reinforcement to be able to give the reliability to the construction.

In the present work, a stability analysis of rock slopes is performed, through the geomechanical characterization, identification of failure modes and the choice of the most adequate type of support, both in the entry and exit portal of the Pumamayo tunnel and of the Pumamayo dam, the modeling takes place under static and pseudo-static conditions, which makes it possible to find an acceptable safety factor for the stability of the slopes.

**Keywords:** slopes, slope stability, failure modes, safety factor, static, pseudo-static, support.

## INTRODUCCIÓN

El presente trabajo plantea realizar un análisis de la estabilidad de los taludes, que permita obtener un Factor de Seguridad aceptable para la construcción del túnel Pumamayo y del aliviadero de demasías de la presa Pumamayo, mediante el modelamiento con software geomecánico del paquete de Rocscience, con un análisis de la estabilidad por el método de equilibrio límite de los taludes tanto en condiciones estáticas y pseudoestáticas.

En el primer capítulo se establece el planteamiento del problema; ¿Con un adecuado análisis de estabilidad de taludes se podrá lograr un Factor de Seguridad aceptable y así poder elegir los tipos de reforzamiento apropiados en el proyecto de Regulación del Río Pumamayo?, la presente tesis pretende realizar un análisis de estabilidad encontrando los Factores de Seguridad óptimos y así poder contestar de forma satisfactoria a este cuestionamiento, además en este capítulo detallamos los objetivos, la justificación, las limitaciones y la viabilidad del estudio.

En el segundo capítulo se abordan los aspectos teóricos del estudio como el análisis de estabilidad de taludes por la metodología del equilibrio limite, los antecedentes de la aplicación de este método en trabajos similares, definiciones y conceptos sobre los aspectos básicos estabilidad, modos de falla en taludes, características físicas del macizo rocoso, clasificación geomecánica y finalizando este capítulo, las hipótesis que guiaron esta investigación.

En el capítulo tres se muestra la metodología utilizada para alcanzar nuestros objetivos, el diseño metodológico, la población utilizada, las técnicas de recolección de datos y culminando con la operacionalización de las variables.

En el capítulo cuatro se muestra la caracterización del área, el cual comprende aspectos generales de la obra Regulación del Río Pumamayo como; ubicación, accesibilidad,

fisiografía y recursos, geología de la zona, caracterización geomecánica del macizo rocoso y la clasificación geomecánica de la calidad del tipo de terreno presentes en el área de estudio.

Finalizando el trabajo en el capítulo cinco se expone y analiza los resultados obtenidos con la aplicación del método utilizado.

## CAPÍTULO I

### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

#### 1.1. DESCRIPCIÓN DE REALIDAD PROBLEMÁTICA

El proyecto “Regulación del Río Pumamayo, para el afianzamiento hídrico de la Central. Hidroeléctrica San Gabán II”, de la Empresa de Generación Eléctrica San Gabán S.A. (la EGESG), tiene como objetivo el afianzamiento hídrico de la C.H. San Gabán II, además de almacenar y regular las aguas del río para la generación de energía con la futura construcción de la C.H. San Gabán III.

Esta obra comprende estructuras como; la Presa Pumamayo, de tipo CFRD (enrocado con losa de concreto sobre su talud aguas arriba), con una altura máxima de 31.5 m y un volumen de 32 MMC; un túnel, que en su fase inicial cumplirá el papel de desviar las aguas del río Pumamayo posibilitando la construcción de la presa, el cual se convertirá posteriormente en túnel de operación para regular el agua a ser descargada al río y finalmente un aliviadero de demasías que se ubicará en la margen derecha de la presa y que terminará en un salto de esquí.



Para la construcción del túnel y el aliviadero de demasías se presenta la problemática de inestabilidad en los taludes del macizo rocoso donde se ira a construir estas estructuras. Es por tal razón que el presente estudio tiene la finalidad de realizar un análisis de la estabilidad de los taludes tanto en el portal de entrada y de salida del túnel de derivación del río Pumamayo y en el aliviadero de demasías.

Un conocimiento adecuado del comportamiento de los taludes frente a las posibles roturas que pueda presentar, repercute enormemente en los costes y la seguridad de la obra; por ello, las investigaciones de campo (in situ) y los realizados en el laboratorio, deben ser lo suficientes, como para poder caracterizar en la medida de lo posible las características geomecánicas del terreno, así como los posibles mecanismos de rotura, para que al final se de una recomendación en el sistema de refuerzo que se requiera para lograr la estabilidad en dichos taludes.

## **1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

### **1.2.1. Problema general**

¿Con un adecuado análisis de estabilidad de taludes se podrá lograr un Factor de Seguridad aceptable y así poder elegir los tipos de reforzamiento apropiados en el proyecto de Regulación del Río Pumamayo?

### **1.2.2. Problemas específicos**

- ¿Cuál será el factor de seguridad aceptable para los taludes en el portal de entrada y de salida del Túnel Pumamayo y en el aliviadero de demasías de la Presa Pumamayo?

- ¿Qué tipos de reforzamiento se deberá elegir para mantener la estabilidad en los taludes del portal de entrada y de salida del Túnel Pumamayo y en el aliviadero de demasías de la Presa Pumamayo?

### **1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **1.3.1. Objetivo general**

Analizar la estabilidad de los taludes y elegir los tipos de reforzamiento apropiados en el proyecto de Regulación del Río Pumamayo.

#### **1.3.2. Objetivos específicos**

- Evaluar la estabilidad de los taludes para obtener un Factor de Seguridad aceptables para los taludes del portal de ingreso y salida del túnel Pumamayo y en el aliviadero de demasías de la presa Pumamayo.
- Proponer los tipos de reforzamiento adecuados ante eventuales problemas de inestabilidad en los taludes del portal de ingreso y salida del túnel Pumamayo y en el aliviadero de demasías de la presa Pumamayo.

### **1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

La ejecución de este proyecto, que forma parte del afianzamiento hídrico de la central hidroeléctrica de San Gabán II, que permitirá almacenar 32 hm<sup>3</sup> de agua, en temporada de lluvia, producto de la regulación del río Pumamayo y la laguna Ajoyajota. El proyecto comprende principalmente de una presa y sus obras conexas de desvío en túnel, toma y descarga y un canal de alivio. La presa es de tipo enrocado, con revestimiento de concreto en talud aguas arriba, y tiene más de 30 m de altura máxima. El túnel de desvío de 192

m de longitud, sin considerar estructuras de ingreso y salida, y que posteriormente operará como descarga de fondo, se desarrolla por la margen izquierda del río.

Es en la etapa de construcción del túnel – portal de ingreso y salida – y del canal de aliviadero que se presentan problemas de inestabilidad en los taludes naturales que se tiene en el terreno, con tal fin se realiza la evaluación de los taludes artificiales que se dará y el tipo de reforzamiento que se implantará para mantener una estabilidad aceptable de los taludes.

### **1.5. LIMITACIONES DEL ESTUDIO**

El estudio tuvo pocas limitaciones como la inaccesibilidad a zonas altas del frente del talud para poder tomar datos de campo debido a la gran altura del talud y el riesgo asociado a la caída de rocas.

### **1.6. VIABILIDAD DEL ESTUDIO**

La importancia del estudio de la estabilidad de taludes en el moderno desarrollo de las actuales infraestructuras tales como, vías de comunicación, canales, caminos o ferrocarriles, así como el impulso de la construcción de presas de tierra ha recibido en todo momento en los últimos años han puesto al diseño y la construcción de taludes en un plano de importancia ingenieril de primer orden. Tanto por el aspecto de inversión como por el de consecuencias derivadas de su falla, los taludes constituyen hoy una de las estructuras ingenieriles que exigen mayor cuidado en la etapa de estudio y construcción de la obra.

En la actualidad se vienen realizando innumerables obras de regulación de cuencas ya sea para obras de agricultura y energía por lo que urge la necesidad de construir obras de ingeniería para el control de las cuencas, debido a estas construcciones es que se hace

necesario entender el comportamiento que tendrán los taludes naturales y finales que se le darán a las obras para mantener las estructuras seguras y duraderas.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

##### a. Proyecto de Regulación del Río Pumamayo

El potencial hidroenergético de la cuenca del río San Gabán se viene estudiando desde la década del 60, periodo en el cual se han analizado diversos esquemas y tamaños de centrales hidroeléctricas que concebían el aprovechamiento de los recursos hídricos en su condición de esorrentía natural, es decir, sin considerar la necesidad de efectuar obras de regulación.

En los últimos años, con la conformación de los sistemas eléctricos interconectados, se hacen viables y muy atractivas determinadas obras de regulación estacional a fin de incrementar la generación de energía eléctrica en dicha central. En este nuevo escenario, ELECTROPERÚ identificó en 1987 como alternativas de afianzamiento hídrico del río San Gabán los embalses de Macusani y Corani, con los cuales se logra incrementar significativamente el caudal garantizado en el río San Gabán y consecuentemente su potencial hidroenergético.

En 1993, se efectuó el estudio del plan de afianzamiento hídrico del río San Gabán. Como resultado de dicho estudio se estableció que debería implementarse en una primera etapa de afianzamiento el embalse de Macusani con una capacidad de 112 hm<sup>3</sup> y un volumen útil anual del orden de 97 hm<sup>3</sup>, con el cual el caudal medio mensual garantizado, en condiciones naturales de esorrentía de 7.2 m<sup>3</sup>/s, se lograría incrementar hasta alcanzar el valor de 16.30 m<sup>3</sup>/s en el punto de captación de la entonces futura central hidroeléctrica San Gabán II.

Posteriormente, durante el periodo de construcción de la C.H. San Gabán II (1996 – 1999), la EGESG emprendió estudios principalmente en la parte alta de la cuenca del río Macusani, a fin de construir obras de represamiento en pequeñas lagunas para regular sus recursos hídricos e incrementar el caudal firme con inversiones poco significativas.

Como resultado de tal iniciativa, en el periodo 1999 – 2000 la EGESG construyó pequeñas obras de regulación en cuatro lagunas de la cuenca alta del río Macusani y una de la del río Corani, conforme se muestra en el Cuadro 2.1.

**Cuadro 2.1.** Lagunas actualmente reguladas.

LAGUNA	CONDICIÓN	RÍO	SUBCUENCA	CAPACIDAD
Chungara	Existente	Churquinuyo	Macusani	9.76
Parinajota	Existente	Churquinuyo	Macusani	9.41
Chaumicocha	Existente	Tocca	Macusani	3.50
Isococha	Existente	Tocca	Macusani	7.68
Suytucocha	Existente	Trapiche	Corani	5.89
			TOTAL	36.24

Fuente: Elaboración propia.

En el año 2013, se cuenta con un proyecto definitivo de regulación de tres lagunas en la cuenca del río Corani, con una capacidad total de 24.2 hm<sup>3</sup>, que está en actual construcción. En el año 2002, la EGESG realizó el estudio de prefactibilidad para las obras de Regulación del Río Pumamayo. En este estudio se investigaron el río Pumamayo,

las quebradas Chahuana y Tupuri mediante investigaciones básicas elementales. Luego continuó el estudio de factibilidad y el estudio definitivo.

### Características físicas del embalse y de la cuenca

– Nivel de corona de presa	: 4 578.50 msnm
– Altura de presa	: 31.50 m
– Ancho de corona	: 6.00 m
– Longitud corona presa	: 81.50 m
– Borde libre	: 2.80 m
– Área de la cuenca del río Ajoyajota	: 96 km <sup>2</sup>
– Perímetro de cuenca del río Ajoyajota	: 49,7 km
– Área de embalse (NAMO)	: 2.55 km <sup>2</sup>
– Perímetro embalse (NAMO)	: 14.90 km
– Altura del embalse	: 31.30 m
– Volumen del embalse (NAMO)	: 32.0 hm <sup>3</sup>
– Nivel de corona presa	: 4 578.50 msnm
– Nivel del NAME	: 4 577.04 msnm
– Nivel del NAMO	: 4 575.70 msnm
– Nivel del NAMI	: 4 556.50 msnm
– Nivel de base del embalse	: 4 547.20 msnm

- Altitud media : 4 800 msnm
- b.** Cabrera (2005), En su tesis de título *Estudio de estabilidad de taludes del tajo Suro Sur y Suro Norte en la mina La Virgen* presentada en la Facultad de Ingeniería de Minas de la Universidad Nacional del Altiplano en sus conclusiones menciona. Conclusión N° 02: “La recolección de la información estructural y de las características geotécnicas del macizo rocoso de la zona de estudio, se realizó a través de un mapeo geológico – geotécnico sobre la superficie de los cortes efectuados por la explotación actual, seguido de un mapeo estructural mediante el empleo del método de línea de detalle y método de celdas”. Conclusión N° 04: “La clasificación del macizo rocoso para cada zona investigada se realizó empleando el índice RQD, sistema RMR (Bieniawski, 1989), índice Q (Barton et, al., 1974) e índice GSI (Marino y Hoek al et. 2000), lo que ha permitido definir diez dominios estructurales”.
- c.** Rodríguez, Morales, & Paredes (2003). En el trabajo denominado *Evaluación de la estabilidad de taludes en la mina Lourdes* presentado en la Facultad de Ingeniería de Minas de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann en sus conclusiones menciona.- Conclusión N° 03: “Se levantó información estructural mediante línea de detalle; determinándose como el sistema de discontinuidades más desfavorable, en la cantera Lourdes, Configurando el riesgo potencial de una inestabilidad por falla de corte plana. El análisis de estabilidad se desarrolló utilizando el método de equilibrio límite”.
- d.** Rodríguez (2014). En su artículo de título *Problemas estructurales y la estabilidad de los macizos rocosos* presentados a la revista del Colegio de Ingenieros del Perú – CD Puno en sus conclusiones menciona.- Conclusión N° 01: “La evaluación de



problemas estructurales en macizos rocosos, mediante proyección estereográfica, es un medio conveniente en la identificación de direcciones dominantes de discontinuidades”. Conclusión N° 03: “La representación estereográfica permite verificar las relaciones angulares entre las direcciones dominantes de las discontinuidades y el talud propuesto”.

## **2.2. BASES TEÓRICAS**

### **2.2.1. Consideraciones generales sobre estabilidad de taludes**

En la mayor parte de los casos, el estudio de la estabilidad de taludes no puede realizarse a nivel general, sino talud por talud, ya que las inestabilidades suelen ir asociadas a la presencia de discontinuidades concretas con determinadas orientaciones. Cuando el coeficiente de seguridad de un talud bien calculado sea inferior a 1, es probable que se produzca su falla. (Ramirez & Alejano, 2007).

La distinta naturaleza de las rocas que forman los macizos rocosos implica una problemática determinada en su comportamiento ante la estabilidad de taludes. El comportamiento de un macizo rocoso generalmente depende de las características de las discontinuidades (estratificación, diaclasas, fallas, esquistosidad, etc.) que presenta, así como la litología de la matriz rocosa y su historia evolutiva. Ya que generalmente los diferentes modos de falla que se producen en los medios rocosos siguen superficies ya existentes. (Instituto Tecnológico GeoMinero de España, 1987).

### **2.2.2. Análisis de estabilidad de taludes**

Los métodos de análisis de estabilidad se basan en un planteamiento físico-matemático en el que intervienen las fuerzas estabilizadoras y desestabilizadoras que actúan sobre el

talud y que determinan su comportamiento y condiciones de estabilidad se pueden agrupar en:

- Métodos probabilísticos.
- Métodos determinísticos.

### **Métodos probabilísticos**

Consideran la probabilidad de rotura de un talud bajo condiciones determinadas. Es necesario conocer las funciones de distribución de los diferentes valores considerados como variables aleatorias en los análisis (con lo que se supone mayor dificultad por la cantidad de datos necesarios, dadas las incertidumbres sobre las propiedades de los materiales), realizándose a partir de ellas los cálculos del factor de seguridad mediante procesos iterativos.

Se obtienen las funciones de densidad de probabilidad y distribución de probabilidad y distribución de probabilidad del factor de seguridad, y curvas de estabilidad del talud, con el factor de seguridad asociado a una determinada probabilidad de ocurrencia. Gonzales (2002): Ingeniería Geológica, Pearson Education 2002. España). La elección del método de análisis más adecuado en cada caso dependerá de:

- Las características geológicas y geomecánicas de los materiales.
- Los datos disponibles del talud y su entorno.
- Alcance y objetivos del estudio, grado de detalle y resultados que se espera obtener.

## **Métodos determinísticos**

Conocidas o supuestas las condiciones en que se encuentra un talud, estos indican si el talud es o no estable. Consisten en seleccionar los valores adecuados de los parámetros físicos y resistentes que controlan el comportamiento del material para que a partir de ellos y de las leyes de comportamientos adecuados, definir el estado de estabilidad o el factor de seguridad del talud. Los métodos de cálculo para analizar la estabilidad de un talud se pueden clasificar en dos grandes grupos (Ver Fig. 2.1):

- Métodos de cálculo en deformaciones.
- Métodos de equilibrio límite.

### **a. Métodos de cálculo en deformaciones**

Consideran en el cálculo las deformaciones del terreno además de las leyes de la estática. Su aplicación práctica es de gran complejidad y el problema debe estudiarse aplicando el método de los elementos finitos u otros métodos numéricos.

### **b. Métodos de equilibrio límite**

Se basan exclusivamente en las leyes de la estática para determinar el estado de equilibrio de una masa de terreno potencialmente inestable. No tienen en cuenta las deformaciones del terreno. Suponen que la resistencia al corte se moviliza total y simultáneamente a lo largo de la superficie de corte. Se pueden clasificar a su vez en dos grupos:

- Métodos exactos.
- Métodos no exactos.

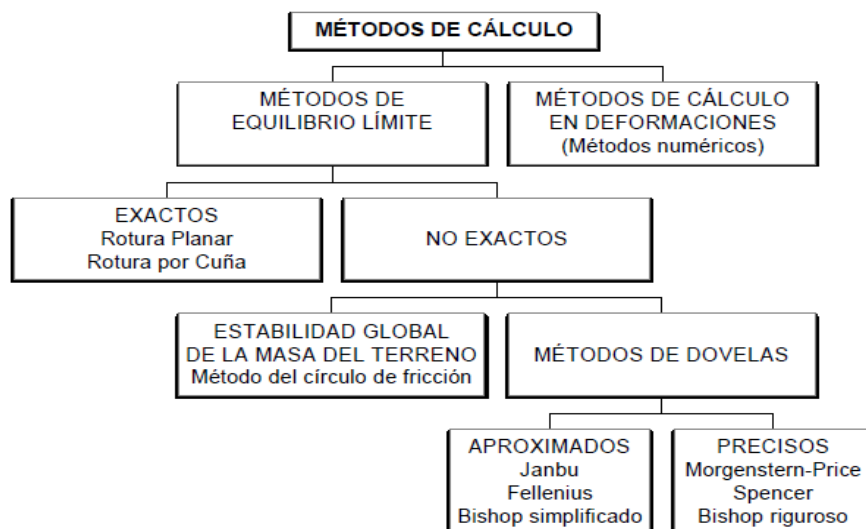
### **Métodos exactos**

La aplicación de las leyes de la estática proporciona una solución exacta del problema con la única salvedad de las simplificaciones propias de todos los métodos de equilibrio límite (ausencia de deformaciones, factor de seguridad constante en toda la superficie de rotura, etc.). Esto sólo es posible en taludes de geometría sencilla, como por ejemplo la rotura planar y la rotura por cuñas.

### **Métodos no exactos**

En la mayor parte de los casos la geometría de la superficie de rotura no permite obtener una solución exacta del problema mediante la única aplicación de las leyes de la estática. El problema es hiperestático y ha de hacerse alguna simplificación o hipótesis previa que permita su resolución. Se pueden considerar así los métodos que consideran el equilibrio global de la masa deslizante, hoy en desuso, y los métodos de las dovelas o rebanadas, que consideran a la masa deslizante dividida en una serie de fajas verticales.

- Métodos aproximados: no cumplen todas las ecuaciones de la estática. Se pueden citar por ejemplo los métodos de Fellenius, Janbu y Bishop simplificado.
- Métodos precisos o completos: cumplen todas las ecuaciones de la estática. Los más conocidos son los de Morgenstern-Price, Spencer y Bishop riguroso.



**Figura 2.1.** Clasificación de los métodos de cálculo.

Fuente: GEOTECNIA 2000 – Fernando Herrera Rodríguez.

### 2.2.3. Factor de Seguridad

Se define el factor de seguridad (FS), como el valor que cuantifica la diferencia entre las condiciones reales que presenta el talud, y las condiciones que llevan a su rotura. El factor de seguridad es el coeficiente mínimo de todos los coeficientes de seguridad asociados a todas las superficies de deslizamiento posibles.

$$FS = \frac{\int \tau_R \cdot ds}{\int \tau \cdot ds}$$

Dónde:

$\tau_R$  Es la resistencia al corte máxima que se puede movilizar a lo largo de la superficie potencial de deslizamiento.

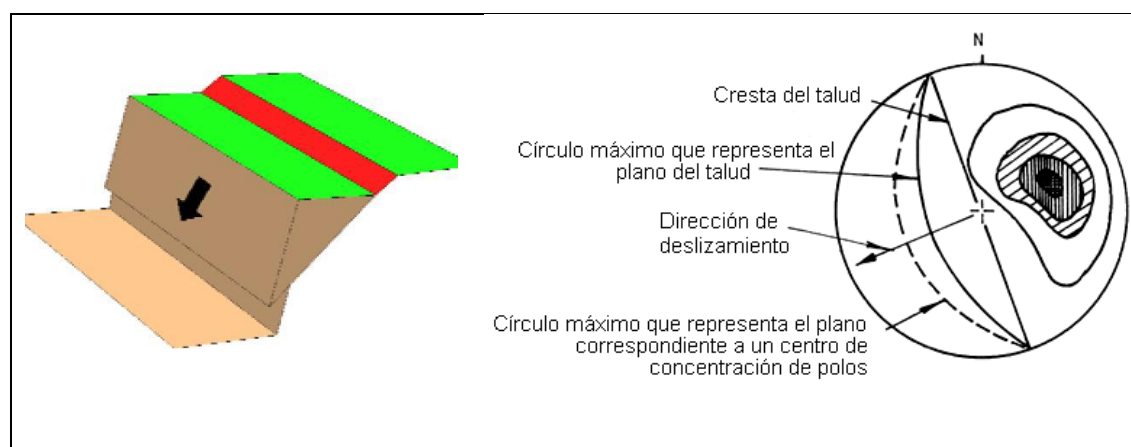
$\tau$  Es la resistencia al corte movilizad a lo largo de la superficie potencial de deslizamiento.

$ds$  Es el diferencial de longitud a lo largo de la superficie de deslizamiento.

#### 2.2.4. Mecanismos de rotura

##### a. Rotura planar

Se entiende por falla plana, o rotura planar, como aquella en la que el deslizamiento se produce a través de una única superficie plana. Siendo la más sencilla de las formas de rotura posibles se produce cuando existe una fracturación dominante en la roca y convenientemente orientada respecto al talud. La representación semiesférica en la red de Schmidt de esta condición se observa en la Fig. 2.2, se prevé el deslizamiento cuando el rumbo de la familia de discontinuidades es similar al del talud y su buzamiento menor que este. (Instituto Tecnológico GeoMinero de España, 1987).

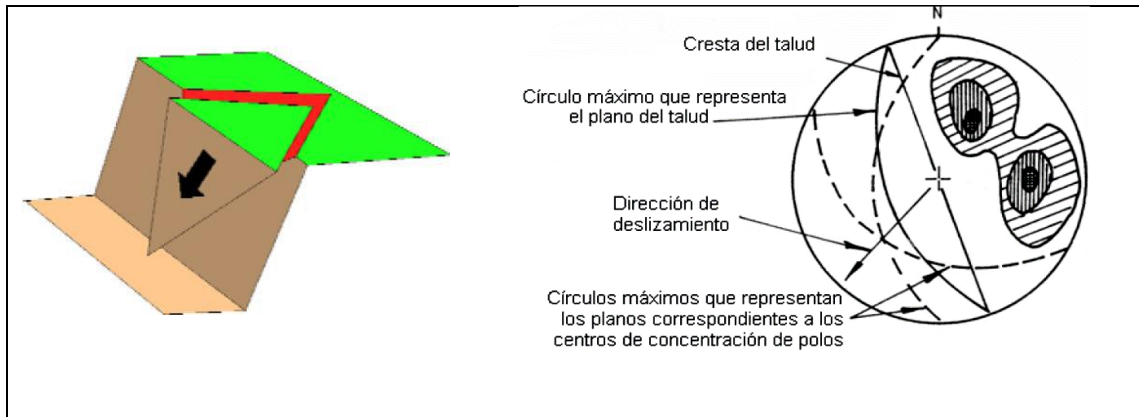


**Figura 2.2.** Disposición de discontinuidades en el estereograma para un modo de falla planar.

Fuente: Modificado de Hoek y Bray, 1977.

##### b. Rotura por cuñas

La falla en cuña es un tipo de deslizamiento traslacional que está controlado por dos o más discontinuidades (estratificación, esquistosidad, diaclasa, falla, etc). Este tipo de deslizamientos generalmente se dan en macizos rocosos resistentes, con discontinuidades bien marcadas (Ver Fig. 2.3). Este tipo de fallas es sin duda una de las más comunes en taludes excavados en roca, fácilmente observados en canteras.

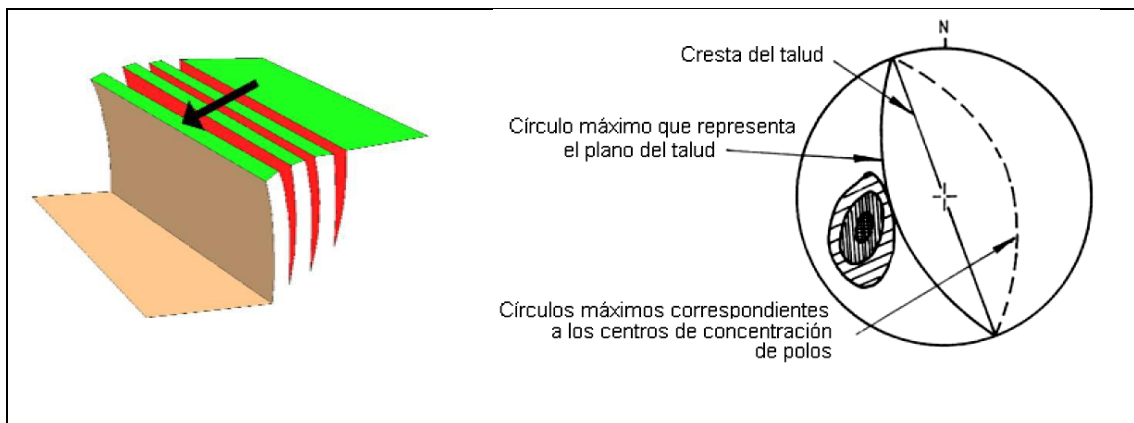


**Figura 2.3.** Disposición de discontinuidades en el estereograma para un modo de falla por cuña.

Fuente: Modificado de Hoek y Bray, 1981.

**c. Falla por vuelco**

Aparecen principalmente cuando el rumbo del plano de discontinuidad: falla, estratificación, etc., coincide aproximadamente con el del plano del talud y además tiene un fuerte buzamiento hacia el interior del macizo rocoso (Ver Fig. 2.4). Cuando el macizo rocoso presenta un conjunto de paquetes que quedan en voladizo, se produce el vuelco por flexión; además, puede aparecer una familia de discontinuidades conjugada con la principal, produciéndose en este caso un vuelco de bloques o un vuelco de bloques por flexión.

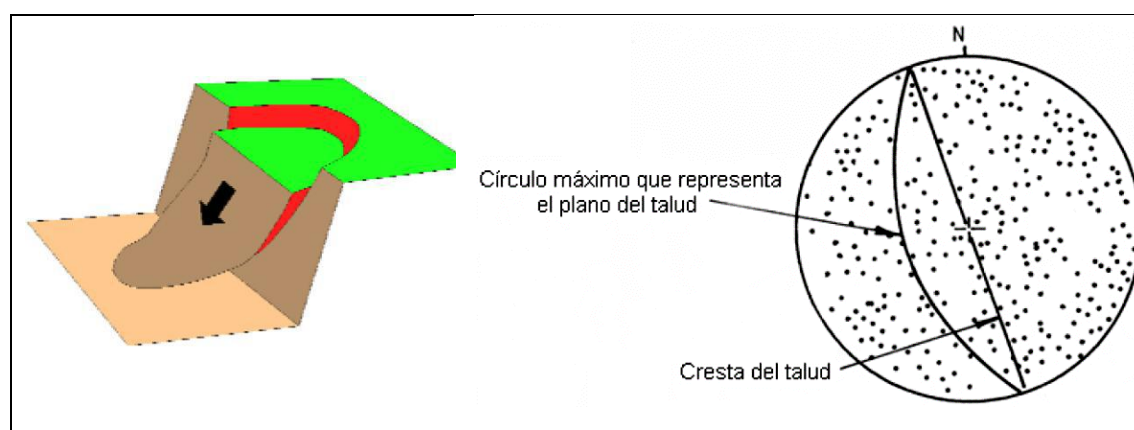


**Figura 2.4.** Disposición de discontinuidades en el estereograma para un modo de falla por vuelco de bloques.

Fuente: Modificado de Hoek y Bray, 1981.

#### d. Roturas circulares y curvas

También conocida como deslizamiento o rotura rotacional, es producida por muchos sets de fallas, las cuales tienen distintos rumbos y manteos, y dejan la roca muy fracturada, perdiendo la cohesión. Por la cantidad de fracturas, el macizo rocoso se transforma en una especie de gravilla, la que desliza por la cara del talud (Ver Fig. 2.5). Esta aproximación de rotura se hace cuando no es posible determinar la familia de discontinuidades que controla la inestabilidad (Instituto Tecnológico GeoMinero de España, 1987).



**Figura 2.5.** Disposición de discontinuidades en el estereograma para un modo de falla circular.

Fuente: Modificado de Hoek y Bray, 1981.

#### 2.2.5. Propiedades físicas y mecánicas de los materiales rocosos

##### Propiedades físicas de la matriz rocosa

Existen una serie de parámetros que se emplean para la identificación y descripción cuantitativa de las propiedades básicas de las rocas y permiten, así mismo, establecer una primera clasificación con fines geotécnicos. Estas propiedades, denominadas propiedades índices, serán las que determinen en primera instancia, junto con la composición mineralógica, las propiedades y el comportamiento mecánico de la matriz rocosa.



**a. Porosidad eficaz**

Es la relación entre el volumen de poros interconectados y el volumen de la muestra.

Puede obtenerse a través de los pesos secos ( $W_{seco}$ ) y saturado ( $W_{sat}$ ) de la muestra:

$$n_e = (W_{sat} - W_{seco}) / (\gamma_w V)$$

En las rocas es frecuente que los poros no estén interconectados, por lo que la porosidad real será mayor que la eficaz. El índice de poros se define como la relación entre el volumen ocupado por huecos ( $V_v$ ) y el volumen ocupado por las partículas sólidas ( $V_{sol}$ ):

$$e = V_v / V_{sol}$$

**b. Peso unitario y densidad**

El peso unitario de una roca ( $\gamma$ ), es definida como la relación entre el peso ( $W$ ) y el volumen total ( $V_T$ ) de la muestra:

$$\gamma = W / V_T$$

La densidad de una roca ( $\rho$ ), es definida como la relación entre la masa ( $M$ ) y el volumen total ( $V_T$ ) de la roca:

$$\rho = M / V_T$$

**c. Permeabilidad**

Es la capacidad de transmitir agua de una roca. La mayoría de las rocas presentan permeabilidades bajas o muy bajas. La filtración y el flujo del agua a través de la matriz rocosa se producen a través de los poros o fisuras, dependiendo la permeabilidad de la

interconexión entre ellos y de otros factores como el grado de meteorización, la anisotropía o el estado de esfuerzos a que está sometido el material.

La permeabilidad de una roca se mide por el coeficiente de permeabilidad o de conductividad hidráulica  $k$ , que se expresa en m/s, cm/s o m/día:

$$k = K(\gamma_w / \mu)$$

Donde  $K$  es la permeabilidad intrínseca (dependiente únicamente de las características del medio físico),  $\gamma_w$  es el peso específico del agua y  $\mu$  es la viscosidad del agua.

#### **d. Resistencia a la compresión simple**

Es el máximo esfuerzo que soporta la roca sometida a compresión uniaxial, determinada sobre una probeta cilíndrica sin confinar en laboratorio, viene dada por:

$$\sigma_c = \frac{F_c}{A}$$

Donde:

- $F_c$  Fuerza compresiva aplicada.
- $A$  Área de la sección de la probeta donde se aplica la carga.
- $\sigma_c$  Resistencia uniaxial de la roca.

#### **2.2.6. Criterios de rotura**

Existen dos formas para definir el comportamiento de una roca en rotura: mediante el estado de tensiones o mediante el de deformaciones. Normalmente se utiliza la primera

(González, 2002). De esta forma, se toma como resistencia de la roca la máxima tensión que ésta puede soportar.

#### a. Criterio de rotura lineal de Mohr-Coulomb

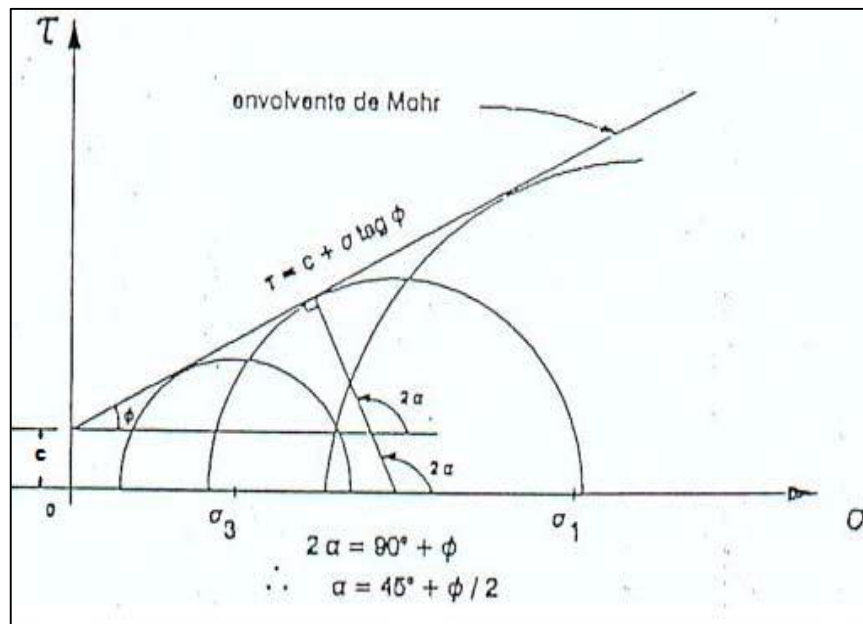
El criterio de rotura de Mohr-Coulomb, introducido por primera vez por Coulomb en el año 1973, inicialmente pensado para el estudio en suelos, es un criterio de rotura lineal.

Generalmente para el caso del criterio de Mohr-Coulomb, se define el criterio de rotura en función de la tensión tangencial y la tensión normal en un plano (Ver Fig. 2.6). En este caso la superficie de fluencia es de la forma  $\tau = f(\sigma)$ . La expresión matemática de dicha ecuación es:

$$\tau = c + \sigma_n \tan \phi$$

Donde:

- "c" es la cohesión, una constante que representa la tensión cortante que puede ser resistida sin que haya ninguna tensión normal aplicada.
- " $\phi$ " es el ángulo de fricción.
- " $\tau$ " es la tensión tangencial que actúa en el plano de rotura.
- " $\sigma_n$ " es la tensión normal que actúa en el plano de rotura.

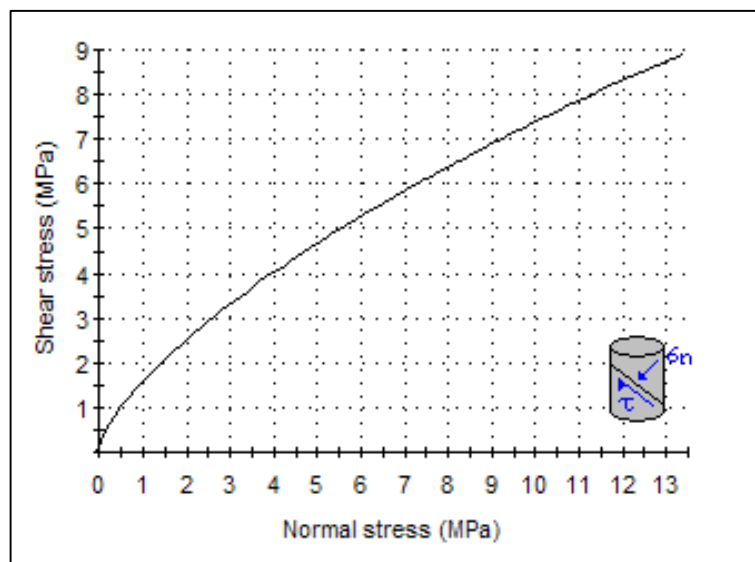


**Figura 2.6.** Representación de la envolvente de Mohr-Coulomb en el espacio de tensiones normal y tangencial.

Fuente: Modificada de según Melentijevic, 2005.

#### b. Criterio de Rotura no Lineal de Hoek & Brown

El criterio de rotura de Hoek & Brown en su versión original fue introducida en el 1980 (Hoek y Brown, 1980a; Hoek y Brown, 1980b) desde entonces su uso se ha generalizado en el ámbito de la mecánica de rocas (Ver Fig. 2.7). El criterio ha sufrido varias modificaciones así como la introducción de nuevos parámetros para definir el estado del material, y nuevas propuestas para obtener la caracterización del macizo, la última en 2002 (Hoek et al., 2002). Se trata de un criterio no lineal, puramente empírico, que permite valorar, de manera sencilla, la rotura de un medio rocoso mediante la introducción de las principales características geológicas y geotécnicas.



**Figura 2.7.** Representación del criterio de rotura de Hoek & Brown, en el espacio de tensiones normal y tangencial.

Fuente: Software Rocscience – RocData 3.0.

A continuación se explica el criterio de rotura original de Hoek & Brown y su última versión.

$$\sigma'_1 = \sigma'_3 + \sigma_{Ci} \left( m \frac{\sigma'_3}{\sigma_{Ci}} + s \right)^{0.5}$$

Donde:

- $\sigma'_1$  y  $\sigma'_3$  Son las tensiones principales mayor y menor en el momento de rotura.
- $\sigma_{Ci}$  Es la resistencia a compresión uniaxial del material intacto.
- $m$  y  $s$  Son constantes del material, que dependen de las propiedades de la roca y del grado de fracturación de la roca antes de someterla a las tensiones de rotura.

El parámetro  $s$  es la medida de disminución de la resistencia a compresión simple de la roca debido a la fracturación. Por su parte,  $m$  influye en la resistencia al corte del material. Ambos parámetros se pueden obtener a partir de la clasificación geomecánica Rock Mass Rating (RMR), introducida por Bieniawski (1976), y que se expone apropiadamente más adelante. El uso del criterio no solo en macizos rocosos duros, sino también en macizos de rocas débiles, ha supuesto una reformulación del criterio, así como la introducción de nuevos parámetros. En su revisión más moderna, responde a la expresión:

$$\sigma'_1 = \sigma'_3 + \sigma_{Ci} \left( m_b \frac{\sigma'_3}{\sigma_{Ci}} + s \right)^a$$

Donde  $m_b$  es un valor reducido de la constante del material  $m_i$  y está dado por:

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

Donde GSI (Geological Strength Index) es una clasificación geomecánica (Hoek, 1994; Hoek, Kaiser y Bawden, 1995),  $s$  y  $a$  son constantes del macizo rocoso dado por las siguientes relaciones:




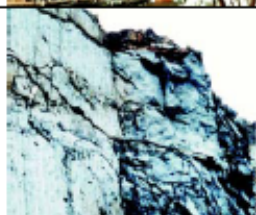

$$s = e^{\left( \frac{GSI-100}{9-3.3D} \right)}$$

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

Donde:

- $m_i$  Es un parámetro dependiente de la litología de la roca.
- $GSI$  Valor sustituido del RMR (Hoek et. al 1998).
- $RMR$  Índice de Bieniawski correspondiente al macizo rocoso.

– *D* Factor de perturbación (Ver Fig. 2.8).

Apariencia del macizo rocoso	Descripción del macizo rocoso	Valor D sugerido
	Excelente calidad de voladura controlada o excavación con tuneladora, TBM, con resultados de alteración mínima del macizo rocoso confinado circundante al túnel.	D=0
	Excavación mecánica o manual en macizos rocosos de mala calidad (sin voladuras) con una alteración mínima en el macizo circundante.  Cuando aparezcan problemas de deformación en el piso durante el avance, la alteración puede ser severa a menos que se coloquen una contrabóveda temporal, tal como se muestra en la figura.	D=0  D=0.5 No invert
	Voladura de muy mala calidad en un túnel en roca competente con daños locales severos, extendiéndose 2 o 3m en el macizo rocoso circundante.	D=0.8
	Pequeñas voladuras en taludes de ingeniería civil dan lugar a pequeños daños al macizo rocoso, particularmente si se usan voladuras de contorno como se muestra en el lado izquierdo de la fotografía. Sin embargo la liberación de tensión resulta en alguna alteración.	D=0.7 Good blasting  D=1.0 Poor blasting
	Los taludes en las grandes minas a cielo abierto sufren alteraciones significativas debido a las grandes voladuras de producción y también debido a la relajación de tensiones al retirar el estéril de recubrimiento.  En algunas rocas blandas la excavación puede llevarse a cabo mediante el ripado y empuje con tractores de orugas y el grado de afección a los taludes será menor.	D=1.0 Production blasting  D=0.7 Mechanical excavation

**Figura 2.8.** Guías para la estimación del factor de alteración del criterio de rotura de Hoek & Brown, *D*.

Fuente: Extraída de Hoek et al., 2002.

**c. Criterio de rotura de Barton y Bandis**

Para evaluar la estabilidad de los macizos rocosos, cuyo comportamiento es gobernado por sus discontinuidades, se empleó el método del equilibrio límite, utilizando el criterio de rotura de Barton y Bandis. Existen muchos métodos y/o criterios para cuantificar los

parámetros de resistencia corte de las discontinuidades, una de ellas es la relación entre el ángulo de fricción total  $(\phi + i)$ , la resistencia de la roca y la presión normal Barton (1976) quien definió la siguiente ecuación empírica:

$$\tau = \sigma \tan \left[ \phi + JRC \log_{10} \left( \frac{\sigma_j}{\sigma'} \right) \right]$$

Donde:

$JRC$                     Coeficiente de rugosidad de la junta.

$\sigma_j$                     Resistencia a la compresión de la roca en la superficie de la fractura.

$\sigma'$                     Esfuerzo normal efectivo.

El término  $JRC \log_{10}(\sigma_j/\sigma')$  equivale al ángulo  $i$ . Cuando se tienen altos niveles de esfuerzos normales, este ángulo tiende a cero. La suma de  $\phi + i$  no debe exceder 70 grados y el rango de  $\sigma_j/\sigma'$  generalmente, varía entre 3 y 100. La ventaja de utilizar el criterio de Barton es la facilidad para determinar los parámetros que controlan la ecuación. Barton consideró que la resistencia cortante de las discontinuidades es la suma de tres componentes:

- Un componente de fricción básico dado por  $\phi_r$ .
- Una componente geométrica, controlada por la rugosidad  $JRC$ .
- Una componente de la falla de las asperitas, controlada por  $\sigma_j/\sigma'$ .

De un análisis muy simple se puede asumir un valor conservador del ángulo de fricción básico de 30°. Para determinar la cohesión dependerá del relleno de las fracturas considerando los siguientes elementos:



- Mineralogía del material del relleno.
- Gradación y tamaño de las partículas.
- Contenido de agua y permeabilidad.
- Movimientos anteriores.
- Rugosidad de las paredes.
- Ancho.
- Fracturación de las paredes.
- Grado de meteorización.
- Potencial de expansión del relleno.

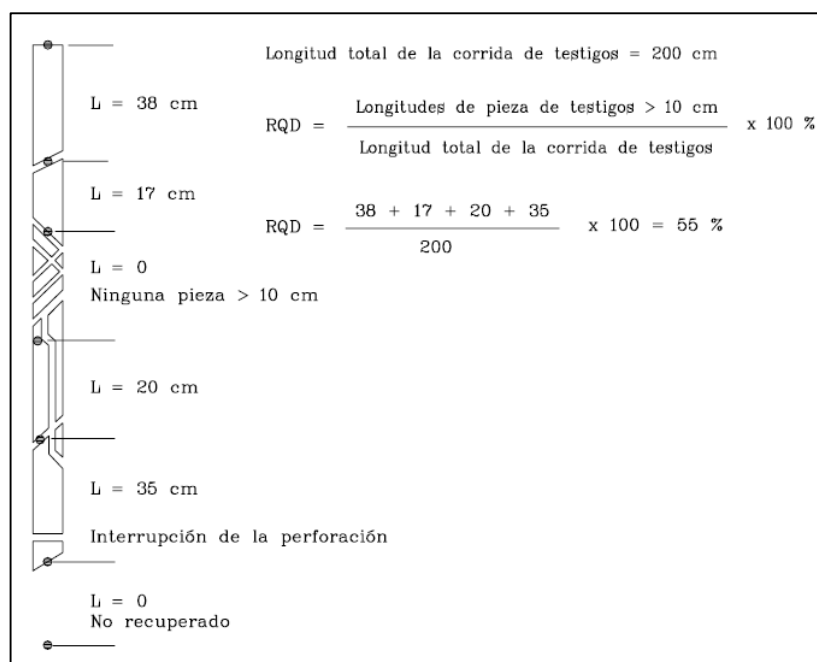
### **2.2.7. Clasificación geomecánica del macizo rocoso**

Durante las etapas de factibilidad y diseño preliminar de un proyecto, cuando muy poca información detallada sobre la masa rocosa y sus esfuerzos y sobre las características hidrológicas se tiene disponible, el uso de un esquema de clasificación de la masa rocosa puede ser considerablemente beneficioso. En el caso más simple, esto puede involucrar la utilización de un esquema de clasificación como un chequeo para asegurar que toda la información relevante ha sido considerada.

#### **a. Índice de designación de la calidad de la roca Clasificación (RQD)**

El índice de Designación de la Calidad de la Roca (Rock Quality Designation Index – RQD) fue desarrollado por Deere et al. (1967), para estimar cuantitativamente la calidad del macizo rocoso basándose en la recuperación de un testigo. Depende indirectamente del número de fracturas y del grado de alteración del macizo. El testigo deberá tener por

lo menos un tamaño NX (54.7 mm o 2.15 pulgadas de diámetro) y deberá ser perforado con un cilindro de doble tubo de perforación. El procedimiento correcto para medir las longitudes de los testigos y el cálculo del RQD son resumidos en la Fig. 2.9. Los valores de esta clasificación son resumidos en el Cuadro 2.2.



**Figura 2.9.** Procedimiento de medición y cálculo del RQD.

Fuente: Deere, 1989.

**Cuadro 2.2** Clasificación de la calidad del macizo rocoso según el índice RQD.

RQD (%)	CALIDAD
< 25	Muy mala
25 – 50	Mala
50 – 75	Media
75 – 90	Buena
90 – 100	Muy buena

Fuente: Deere, 1989.

**b. Clasificación de Bieniawski (RMR)**

El sistema de clasificación Rock Mass Rating o sistema RMR fue desarrollado por Z. T Bieniawski (1973) y posteriormente modificado por el mismo autor (1979). Este modelo de clasificación se basa en más de 300 casos reales de túneles, cavernas y cimentaciones. Los valores de esta clasificación son resumidos en el Cuadro 2.3. El valor del RMR describe numéricamente la calidad del macizo rocoso en base a los siguientes parámetros:

- Resistencia de la roca intacta.
- Índice de calidad del macizo rocoso (RQD).
- Espaciamiento de discontinuidades.
- Condiciones de las discontinuidades (juntas).
- Grado de meteorización.
- Presencia de agua.

**Cuadro 2.3** Clasificación RMR. Bieniawsky (1989).

A. PARÁMETROS DE CLASIFICACIONES Y SUS VALORACIONES								
Parámetro		Escala de valores						
1	Resistencia de la roca intacta	Índice de carga puntual	> 10 MPa	4 – 10 MPa	2 – 4 MPa	1 – 2 MPa	Para este rango bajos, es preferible el ensayo de compresión uniaxial	
		Resistencia compresión uniaxial	> 250 MPa	100 – 250 MPa	50 – 100 MPa	25 – 50 MPa	5 – 25 MPa	1 – 5 MPa
Valoración		15	12	7	4	2	1	0
2	Calidad de testigo de perforación RQD		90% – 100%	75% – 90%	50% – 75%	25% – 50%	< 25%	
	Valoración		20	17	13	8	3	
3	Espaciamiento de juntas		> 2 m	0.6 – 2 m	0.2 – 0.6 m	60 – 200 mm	< 60 mm	
	Valoración		20	15	10	8	5	
4	Condición de las discontinuidades		Superficies muy rugosas. No continuas. Cerradas, sin apertura Paredes rocosas sanas	Superficies ligeramente rugosas. Apertura < 1 mm Paredes ligeramente intemperizadas.	Superficies ligeramente rugosas. Apertura < 1 mm Paredes altamente intemperizadas	Espejo de falla o panizo < 5 mm de espesor. Apertura de 1 – 5 mm. Juntas continuas	Panizo suave > 5 mm de espesor o apertura > 5 mm. Juntas continuas	
	Valoración		30	25	20	10	0	
5	Agua subterránea	Flujo por 10 m de longitud de túnel (l/min)	Ninguno	< 10	10 – 25	25 – 125	> 125	
		Presión de agua / $\sigma$ Principal máximo ( $\sigma_w / \sigma_3$ )	0	< 0.1	0.1 – 0.2	0.2 – 0.5	> 0.5	
	Condición general		Completamente seco	Ligeramente húmedo	Húmedo	Goteando	Fluyendo	
	Valoración		15	10	7	4	0	
B. FACTOR DE AJUSTE POR ORIENTACIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES. (ver F)								
Orientación de rumbo y buzamiento		Muy favorable	Favorable	Regular	Desfavorable	Muy desfavorable		
Valoraciones	Túneles & minas	0	-2	-5	-10	-12		
	Cimentaciones	0	-2	-7	-15	-25		
	Taludes	0	-5	-25	-50	-60		
C. CLASES DE MASA ROCOSA DETERMINADAS POR LAS VALORACIONES TOTALES								
Valoración		100 – 81	80 – 61	60 – 41	40 – 21	< 20		
Numero de clase		I	II	III	IV	V		
Descripción		Roca muy buena	Roca buena	Roca regular	Roca mala	Roca muy mala		
D. SIGNIFICADO DE LAS CLASES DE ROCAS								
Numero de clase		I	II	III	IV	V		
Tiempo en auto sostenimiento		20 años span 15 m	1 año span 10 m	1 semana span 5 m	10 horas span 2.5 m	30 minutos span 1 m		
Cohesión de la masa rocosa (kPa)		> 300	300 – 400	200 - 300	100 – 200	< 100		
Ángulo de fricción de la masa rocosa		> 45°	35° – 45°	25° – 35°	15° – 25°	< 15°		
E. PAUTAS PARA LA CLASIFICACIÓN DE LAS CONDICIONES DE LAS DISCONTINUIDADES								
Longitud de discontinuidades (persistencia)		< 1 m	1 – 3 m	3 – 10 m	10 – 20 m	> 20 m		
Valoración		6	4	2	1	0		
Separación (apertura)		Cerrada	< 0.1 mm	0.1 – 1 mm	1 – 5 mm	> 5 mm		
Valoración		6	5	4	1	0		
Rugosidad		Muy Rugosa	Rugosa	Ligeramente Rugosa	Lisa	Espejo de falla		
Valoración		6	5	3	1	0		
Relleno (panizo)		Ninguno	Relleno duro < 5 mm	Relleno duro > 5 mm	Relleno suave < 5 mm	Relleno suave > 5 mm		
Valoración		6	4	2	1	0		
Intemperización		Sana	Ligera	Moderada	Muy intemperizada	Descompuesta		
Valoración		6	5	3	1	0		
F. EFECTO DEL RUMBO Y BUZAMIENTO DE LAS DISCONTINUIDADES EN EL TÚNEL								
Dirección perpendicular al eje del túnel				Dirección paralela al eje del túnel				
Excavación a favor del buzamiento		Excavación contra buzamiento		Buzamiento > 45°		Buzamiento 20° – 45°		
Buzamiento > 45°	Buzamiento 20° – 45°	Buzamiento > 45°	Buzamiento 20° – 45°	Buzamiento > 45°	Buzamiento 20° – 45°	Buzamiento 0° – 20° Cualquier dirección		
Muy favorable	Favorable	Media	Desfavorable	Muy desfavorable	Media	Desfavorable		

Fuente: Bieniawsky (1989).

**c. Clasificación Geological Strength Index (GSI)**

Con la aparición del criterio de rotura de Hoek&Brown el uso del RMR ya no es adecuado, sobre todo para el caso de rocas débiles, y se introduce de esta forma la clasificación geomecánica GSI (Hoek, 1994; Hoek et al. 1995) El GSI es un sistema para la estimación de las propiedades geomecánicas del macizo rocoso a partir de observaciones geológicas de campo. Las observaciones se basan en la apariencia del macizo a nivel de estructura y a nivel de condición de la superficie (Ver Fig. 2.10 y 2.11). A nivel de estructura se tiene en cuenta el nivel de alteración que sufren las rocas, la unión que existe entre ellas, que viene dada por las formas y aristas que presentan, así como de su cohesión. Para las condiciones de la superficie, se tiene en cuenta si ésta está alterada, si ha sufrido erosión o qué tipo de textura presenta, y el tipo de recubrimiento existente.

<b>INDICE DE RESISTENCIA GEOLOGICA MACIZOS ROCOSOS FRACTURADOS</b> (Marinos & Hoek (2000)) Estime el valor tipico 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 $GSI = 35$ . <u>Note que esta tabla NO es aplicable a problemas con control estructural.</u> 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.		<b>CONDICION DE LAS ESTRUCTURAS</b> <b>MUY BUENA</b> Muy rugosas, cajas frescas o no intemperizadas <b>BUENA</b> Rugosas, cajas ligeramente intemperizadas y algo oxidadas. <b>REGULAR</b> Lisas, cajas moderadamente intemperizadas y algo alteradas <b>MALA</b> Pulidas, cajas meteorizadas, con pátinas o con rellenos y/o fragmentos angulosos <b>MUY MALA</b> Pulidas, cajas muy meteorizadas, con pátinas o con rellenos de arcilla blanda									
<b>ESTRUCTURA DEL MACIZO</b>		<b>DISMINUYE LA CALIDAD</b>									
<b>INTACTA o MASIVA</b> Probetas de roca intacta. Macizos masivos o con pocas y muy espaciadas estructuras.	<b>BLOCOSA</b> Macizos con 3 sets de estructuras, que definen bloques cúbicos, bien trabados entre sí.	<b>MUY BLOCOSA</b> Macizos con 4 sets de estructuras, o más, que definen bloques angulosos y trabados, pero que están parcialmente perturbados.	<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.	<b>DESINTEGRADA</b> Macizo fuertemente fracturado, con una mezcla de bloques angulosos y redondeados, pobremente trabados.	<b>LAMINADA / CIZALLADA</b> Macizo con planos débiles (cizalle y/o esquistosidad), muy poco espaciados entre si y que no definen bloques.	90 80 70 60 N/A N/A	N/A 50 40 30 20 10 N/A N/A	N/A N/A 20 10 10 10	N/A N/A 20 10 10 10	N/A 50 40 30 20 10 N/A N/A	N/A 50 40 30 20 10 N/A N/A
		<b>DISMINUYE TRABAZON ENTRE BLOQUES</b>									

Figura 2.10. Tabla grafica de GSI general.

Fuente: Extraído de Hoek et al., 2002.

<b>INDICE DE RESISTENCIA GEOLOGICA</b> <b>MACIZOS ROCOSOS ESTRATIFICADOS HETEROGENEOS</b> <small>(Marinos &amp; Hoek (2000))</small>		<b>CONDICION ESTRUTURAS</b> <b>(PLANOS DE ESTRATIFICACION)</b>						
En base a una descripción de la litología, la estructura del macizo y la condición de las estructuras (especialmente los planos de estratificación), seleccione una zona en la tabla. Ubique en esa zona la posición correspondiente a la condición de las estructuras y estime el valor medio de <i>GSI</i> . NO trate de ser demasiado preciso. De hecho, el considerar $33 \leq GSI \leq 37$ es más realista que suponer $GSI = 35$ . 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> para condiciones regular, mala o muy mala de las estructuras. La presión del agua no se considera al evaluar el <i>GSI</i> (análisis en esfuerzos efectivos).		<b>MUY BUENA</b> Muy rugosas, superficies frescas o no Meteorizadas.	<b>BUENA</b> Rugosas, superficies algo meteorizadas.	<b>REGULAR</b> Lisas, superficies moderadamente meteorizadas y lateradas.	<b>MALA</b> Muy lisas, ocasionalmente pulidas, con pátinas compactas o rellenos con fragmentos angulosos.	<b>MUY MALA</b> Muy lisas y pulidas o de superficies muy meteorizadas, y con pátinas o rellenos de arcilla blanda.		
<b>COMPOSICION Y ESTRUCTURA DEL MACIZO ROCOSO</b>		70	60	50	40	30	20	10
<p><b>A.</b> Estratos gruesos de arenisca de mucha blocosidad. El efecto de posibles pátinas pelíticas en los planos de estratificación se ve minimizado por el confinamiento del macizo rocoso; sin embargo, en túneles poco profundos y/o taludes, estos planos de estratificación pueden generar inestabilidades controladas estructuralmente.</p>								
<p><b>B.</b> Arenisca con lentes delgadas de limonita.</p>	<p><b>C.</b> Arenisca y limonita, en estratos de similar potencia.</p>	<p><b>D.</b> Limolitas o esquistos limosos con estratos de arenisca.</p>	<p><b>E.</b> Limolitas débiles o esquistos arcillosos con estratos de arenisca.</p>					
<p><b>C, D, E y G:</b> Pueden estar más o menos plegados que lo indicado, pero esto no altera su resistencia. Si presentan deformación tectónica, fallamientos y pérdidas de continuidad, cambie estas categorías a <b>F</b> y <b>H</b>.</p>								
	<p><b>F.</b> Esquistos limosos o arcillosos, deformados tectónicamente, muy plegados y Cizallados, con estratos de arenisca deformados y quebrados, definiendo una estructura casi caótica.</p>							
<p><b>G.</b> Esquistos limosos o arcillosos no perturbados, con o sin intercalaciones de estratos delgados de arenisca.</p>	<p><b>H.</b> Esquistos limosos o arcillosos, deformados tectónicamente, con una estructura caótica y bolsones de arcilla. Estratos delgados de arenisca quebrados en pequeños bloques de roca.</p>	N/A	N/A					
Indica deformación por tectonismo.								

Figura 2.11. Carta para evaluar el índice de resistencia geológica en macizos rocosos estratificados y heterogéneos.

Fuente: Marinos & Hoek, 2000.

**d. Clasificación de Barton et al. (Q)**

El sistema *Q* fue desarrollada por Barton, Lien y Luen en 1974, a partir de la compilación de más de 200 casos históricos de obras de excavaciones subterráneas y considera los índices de designación de la calidad de la roca, *RQD* (Rock Quality Designation); índice de influencia del número de familias de las discontinuidades,  $J_n$ ; índice de influencia de la rugosidad de las paredes de las discontinuidades,  $J_r$ ; índice de influencia de la alteración de las paredes de las discontinuidades,  $J_a$ ; índice de influencia de la acción del agua subterránea,  $J_w$ ; e índice de influencia del estado de tensiones en el macizo en

el contorno de la cavidad, *SRF* (Stress Reduction Factor) (Ver Cuadro 2.5). El valor del índice *Q* es estimado por la expresión:

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

El valor numérico de *Q* varía de 0,001 a 1000 (Ver Cuadro 2.4). Este índice reúne tres características principales del macizo rocoso, como son: el tamaño de los bloques ( $RQD/J_n$ ) resistencia al corte entre bloques ( $J_r/J_a$ ) y acción de la tensión ( $J_w/SRF$ ).

**Cuadro 2.4.** Clasificación de Barton de los macizos rocosos. Índice de Calidad *Q*.

TIPO DE ROCA	VALOR DE Q
Excepcionalmente mala	0.001 – 0.01
Extremadamente mala	0.01 – 0.1
Muy mala	0.1 – 1
Mala	1 – 4
Media	4 – 10
Buena	10 – 40
Muy buena	40 – 100
Extremadamente buena	100 – 400
Excepcionalmente buena	400 – 1000

Fuente: Extraído de Hoek et al., 2002.



**Cuadro 2.5.** Clasificación de parámetros individuales usados en el Índice de Calidad  
Tunelera Q.

DESCRIPCIÓN	VALOR	NOTAS	
<b>1. DESIGNACIÓN DE LA CALIDAD DE LA ROCA</b>	$RQD$		
A. Muy mala	0-25	1. Cuando se reporta o mide un R.Q.D $\leq 10$ (incluyendo 0) se usa un valor nominal de 10 para evaluar Q. 2. Intervalos de RQD de 5, es decir 100, 95, 90, etc. son suficientemente precisos.	
B. Mala	25-50		
C. Regular	50-75		
D. Buena	75-90		
E. Excelente	90-100		
<b>2. NÚMERO DE FAMILIA DE JUNTAS</b>	$J_n$		
A. Masivo, con ninguno o pocas juntas	0.5 – 1	1. Para intersecciones usar $(3.0 \times J_n)$ 2. Para portales usar $(2.0 \times J_n)$	
B. Un sistema de juntas	2		
C. Un sistema de juntas más juntas aleatorias	3		
D. Dos sistema de juntas	4		
E. Dos sistemas de juntas más juntas aleatorias	6		
F. Tres sistemas de juntas	9		
G. Tres sistemas de juntas más juntas de aleatorias	12		
H. Cuatro o más sistemas de juntas, juntas aleatorias, fracturamiento severo tipo “cubos de azúcar”, etc.	15		
I. Rocas trituradas, material terroso.	20		
<b>3. NUMERO DE RUGOSIDAD DE LAS JUNTAS</b>	$J_r$		
<i>a. Paredes rocosas en contacto</i>		1. Adicionar 1.0 si el espaciamiento medio del sistema de juntas relevantes es mayor que 3 m. 2. $J_r = 0.5$ , puede ser usado para juntas con espejos de falla que tienen alineaciones planares, se estipula que las alineaciones son orientadas para una resistencia mínima.	
<i>b. Paredes rocosas en contacto antes de 10 cm de corte</i>			
A. Juntas discontinuas	4		
B. Rugoso o irregular, ondulado	3		
C. Liso ondulado	2		
D. Espejo de falla, ondulado	1.5		
E. Rugoso o irregular planar	1.5		
F. Liso planar	1.0		
G. Espejo de Falla, planar	0.5		
<i>c. Paredes rocosas sin contacto cuando se ha producido el corte</i>			
H. Zona conteniendo de minerales arcillosos, de espesor suficientemente para prevenir el contacto de las paredes rocosas	1.0 (nominal)		
I. Zona arenosa, gravosa o triturada, de espesor suficiente para prevenir el contacto de las paredes rocosas	1.0 (nominal)		
<b>4. NÚMERO DE ALTERACIÓN DE LAS JUNTAS</b>	$J_a$	$\phi_r$ aproximado	
<i>a. Paredes rocosas en contacto</i>		1. Los valores de $\phi_r$ , o ángulo de fricción residual, constituyen una guía aproximada a las propiedades mineralógicas de los productos de alteración si es que estuvieran presentes.	
A. Escaso recubrimiento, duro, relleno endurecido e impermeable.	0.75		
B. Juntas con paredes no alteradas, solo con coloración superficial.	1.0		(25° – 35°)
C. Juntas con paredes ligeramente alteradas, capas de mineral no blandas, partículas arenosas, roca desintegrada libre de arcilla.	2.0		(25° – 30°)
D. Capas de limo o arcillas arenosas, pequeñas fracciones de arcilla (no blandos).	3.0		(20° – 25°)
E. Capas de materiales arcillosos blandos o de baja fricción, es decir caolinita, mica. También clorita, talco, yeso, grafito, etc. y pequeñas cantidades de arcillas turgentes (capas discontinuas, 1 – 2 mm o menos de espesor).	4.0	(8° – 16°)	

DESCRIPCIÓN	VALOR		NOTAS
<b>4. NÚMERO DE ALTERACIÓN DE LAS JUNTAS</b>	$J_a$	$\phi_r$ aproximado	
<i>b. Paredes rocosas en contacto antes de 10 cm de corte</i>			
F. Partículas arenosas, libre de arcilla, roca desintegrada, etc.	4.0	(25° – 30°)	
G. Relleno de mineral de arcilla fuertemente sobreconsolidada, no blando (continuo, < 5 mm de espesor).	6.0	(16° – 24°)	
H. Relleno de mineral arcilloso de media a baja sobreconsolidación, blando (continuo < 5 mm de espesor).	8.0	(12° – 16°)	
J. Relleno de arcillas turgentes, es decir montmorillonita (continuo, < 5 mm). Los valores de $J_a$ dependen del porcentaje del tamaño de las partículas de la arcilla turgente y del acceso al agua	8.0 – 12.0	(6° – 24°)	
<i>c. Paredes rocosas sin contacto cuando se ha producido el corte.</i>			
K. Zonas o bandas de roca desintegrada	6.0		
L. o triturada y arcillas (Ver G, H e I)	8.0		
M. para condiciones arcillosas	8.0 – 12.0		
N. Zonas o bandas de limo o arcilla arenosa, fracciones pequeñas de arcilla, (no blandas).	5.0		
O. Zonas o bandas continuas de arcilla,	10.0 – 13.0		
P. y R. (Ver G, H e I para condiciones arcillosas)	6.0 – 24.0		
<b>5. REDUCCIÓN DE AGUA EN LAS JUNTAS</b>	$J_w$	Presión aprox. de agua (Kgf/cm <sup>2</sup> )	
A. Excavaciones secas o flujo pequeño, es decir < 5 lt/min, localmente.	1.0	< 1.0	1. Los factores del C al F son estimados crudos. El $J_w$ se incrementa sin son instaladas medidas de drenaje.
B. Flujo o presión media, lavado ocasional del relleno de las juntas.	0.66	1.0 – 2.5	
C. Grandes flujos o presión alta en roca competente con juntas sin relleno.	0.5	2.5 – 10.0	
D. Grandes flujos o altas presiones.	0.33	2.5 – 10.0	
E. Flujo excepcionalmente alto o presiones en la voladura, decayendo con el tiempo.	0.2 – 0.1	> 10	2. Los problemas especiales causados por la formación de hielo no son considerados.
F. Flujo excepcionalmente alto o presión continúa sin disminución.	0.1 – 0.05	> 10	
<b>6. FACTOR DE REDUCCIÓN DE ESFUERZOS</b>	$SRF$		
<i>a. Zonas de debilidad que intersectan la excavación las cuales pueden causar el aflojamiento del macizo rocoso cuando se excava el túnel.</i>			
A. Ocurrencias múltiples de zonas de debilidad conteniendo arcillas o roca químicamente desintegrada, muy aflojada en los alrededores (a cualquier profundidad).	10.0		
B. Zonas simples de debilidad conteniendo arcillas o roca químicamente desintegrada (profundidad de la excavación < 50 m).	5.0		
C. Zonas simples de debilidad conteniendo arcillas o roca químicamente desintegrada (profundidad de la excavación > 50 m).	2.5		1. Reducir estos valores de $SRF$ en 25 – 50% si solo son influenciadas por zonas de corte relevantes, pero no intersectan la excavación.
D. Zonas múltiples de corte en roca competente (libre de arcilla), aflojamiento de la roca en los alrededores (a cualquier profundidad).	7.5		
E. Zonas simples de corte en roca competente (libre de arcillas), (profundidad de la excavación < 50 m).	5.0		
F. Zonas simples de corte en roca competente (libre de arcillas), (profundidad de la excavación > 50 m).	2.5		
G. Juntas abiertas y sueltas, roca severamente diaclasada o ‘cubos de azúcar’ (a cualquier profundidad).	5.0		
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>VALOR</b>		<b>NOTAS</b>

6. FACTOR DE REDUCCIÓN DE ESFUERZOS		SRF		
<i>b. Roca competente, problemas de esfuerzos en roca</i>		$\sigma_c/\sigma_1$	$\sigma_t/\sigma_1$	2. Para campos de esfuerzos vírgenes fuertemente anisotrópicos (si fueran medidos): cuando $5 \leq \sigma_1/\sigma_3 \leq 10$ , reducir $\sigma_c$ a $8\sigma_c$ y $\sigma_t$ a $0.8\sigma_t$ . Cuando $\sigma_1/\sigma_3 > 10$ , reducir $\sigma_c$ a $0.6\sigma_c$ y $\sigma_t$ a $0.6\sigma_t$ , donde:
H.	Esfuerzos bajos, cerca de la superficie	> 200	> 13	2.5
J.	Esfuerzos medianos.	200 – 10	13 – 0.66	1.0
K.	Esfuerzos altos, estructuras muy rígidas (usualmente favorables para la estabilidad, pueden ser desfavorables para la estabilidad de las paredes).	10 – 5	0.66 – 0.33	0.5 – 2.0
L.	Estallidos moderados (roca masiva).	5 – 2.5	0.33 – 0.16	5 – 10
M.	Estallidos severos (roca masiva).	< 2.5	< 0.16	10 – 20
<i>c. Roca muy deformable, flujo plástico en roca incompetente bajo la influencia de altas presiones rocosas</i>				
N.	Presiones rocosas moderadas			5 – 10
O.	Presiones rocosas severas			10 – 20
<i>d. Rocas expansivas, actividad de expansión química dependiente de la presencia de agua</i>				
P.	Presiones rocosas de expansión, moderadas			5 – 10
R.	Presiones rocosas de expansión, severas			10 – 20
<p><b>NOTAS ADICIONALES SOBRE EL USO DE ESTAS TABLAS:</b></p> <p>Cuando se estime la calidad de la masa rocosa (<math>Q</math>), se deberán seguir las siguientes pautas en adición a las notas listadas en las tablas:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Cuando no se dispongan testigos procedentes de taladros, el <math>RQD</math> puede ser estimado a partir del número de juntas por unidad de volumen, al cual se le adiciona el número de juntas por metro para cada familia de juntas. Una simple relación puede ser usada para convertir este número a <math>RQD</math> para el caso de macizos rocosos libres de arcilla: <math>RQD = 115 - 3.3J_v</math> (aprox.) donde <math>J_v</math> = número total de juntas por <math>m^3</math> (<math>RQD=100</math> para <math>J_v &lt; 4.5</math>).</li> <li>2. El parámetro <math>J_n</math> que representa el número de familias de juntas, frecuentemente será afectado por la foliación, esquistocidad, estratificación, etc. Si estas “juntas” fueran muy pronunciadas, obviamente deberían ser consideradas como un sistema (set). Sin embargo, si hubieran pocas juntas visibles o solo roturas ocasionales en los testigos debido a estos rasgos, será más apropiado considerar a ellas como “juntas aleatorias” cuando se evalúe el <math>J_n</math>.</li> <li>3. Los parámetros <math>J_r</math> y <math>J_a</math> (que representan la resistencia al corte) deberán ser relevantes para los sistemas de juntas significativamente más débiles o discontinuidades con relleno de arcilla, en determinadas zonas. Sin embargo, si el sistema de juntas con el valor mínimo de <math>(J_r/J_a)</math> esta favorablemente orientado, se puede usar sus mayores valores para evaluar el <math>Q</math>. En efecto, el valor de <math>J_r/J_a</math> debe relacionarse a la superficie donde es más probable que se inicie la falla.</li> <li>4. Cuando un macizo rocoso contiene arcillas, se debe evaluar el <math>SRF</math> apropiado para las cargas de aflojamiento. En tales casos la resistencia de la roca intacta es de poco interés. Sin embargo, cuando el diaclasamiento es mínimo y no hay presencia de arcilla, la resistencia de la roca intacta puede llegar a ser la ligazón más débil, en este caso la estabilidad dependerá de la relación roca-esfuerzo/roca-resistencia. Un campo de esfuerzo fuertemente anisotrópico no favorece la estabilidad como se refirió genéricamente en la nota 2 de esta tabla (Factor de reducción de esfuerzos).</li> <li>5. Las resistencias de la roca intacta <math>\sigma_c</math> y <math>\sigma_t</math>, deben ser evaluadas para condiciones saturadas si es que esto es apropiado para el presente o futuro de las condiciones in-situ. Un estimado muy conservador de la resistencia debe ser efectuado para aquellas rocas que se deterioran cuando están expuestas a la humedad o a condiciones saturadas.</li> </ol>				

Fuente: Barton et. al., 1974.

### e. Clasificación SMR para taludes

La clasificación SMR es un método de determinación de los factores de ajuste adecuados para aplicar la clasificación RMR de BIENIAWSKI a los taludes. Tras su publicación en inglés (ROMANA 1985, 1988, 1991, 1995) la clasificación SMR ha despertado cierto interés y el propio BIENIAWSKI (1989) la recomienda en su último libro para su aplicación en taludes.

Las últimas publicaciones "in extenso" corresponden en inglés a un capítulo del compendio "Comprehensive Rock Engineering" editado por HUDSON (Vol. 3. ROMANA 1993) y al reciente Simposio de ICFL de Granada (ROMANA, 1996) y en castellano a los Simposios de Taludes de La Coruña (ROMANA, 1993) y Granada (ROMANA, 1997) publicaciones de las que tomaremos algunos puntos en el desarrollo posterior de esta comunicación.

Cualquier clasificación debe considerar, en primer lugar que la rotura de un talud rocoso puede ocurrir según formas muy diferentes. En la mayoría de los casos la rotura de la masa rocosa está gobernada por las discontinuidades y se produce según superficies formadas por una o varias juntas. El índice SMR para la clasificación de taludes se obtiene del índice RMR básico sumando un "factor de ajuste" (Ver Cuadro 2.6), que es función de la orientación de las juntas (y producto de tres sub factores) y un "factor de excavación" que depende del método utilizado:

$$SMR = RMR + (F1 \times F2 \times F3) + F4$$

- ***F1***: depende del paralelismo entre el rumbo de las juntas y de la cara del talud. Varía entre 1.00 (cuando ambos rumbos son paralelos) y 0.15 (cuando el ángulo entre ambos rumbos es mayor de 30° y la probabilidad de rotura es muy baja).

Estos valores, establecidos empíricamente, se ajustan aproximadamente a la expresión:

$$F1 = (1 - \text{sen}(a_j - a_s))^2$$

Siendo  $a_j$  y  $a_s$  los valores del buzamiento de la junta ( $a_j$ ) y del talud ( $a_s$ ).

- **F2:** depende del buzamiento de la junta en la rotura plana. En cierto sentido es una medida de la probabilidad de la resistencia a esfuerzo cortante de la junta varía entre 1.00 (para juntas con buzamiento superior a 45°) y 0.15 (para juntas con buzamiento inferior a 20°). Fue establecido empíricamente pero puede ajustarse aproximadamente según la relación:

$$F2 = \text{tg}^2 b_j$$

Donde  $b_j$  es el buzamiento de la junta,  $F2$  vale 1.00 para las roturas por vuelco.

- **F3:** refleja la relación entre los buzamientos de la junta y el talud. Se han mantenido los valores propuestos por BIENIAWSKI en 1976 que son siempre negativos.

Para roturas planas  $F3$  expresa la probabilidad de que las juntas afloren en el talud. Se supone que las condiciones son "normales" cuando el buzamiento medio de la familia de juntas es igual a la del talud, y por lo tanto aflorarán algunas pocas juntas. Cuando el talud buza más que las juntas, casi todas afloran y las condiciones "serán muy desfavorables" lo que supone un valor de  $F3$  de -60 (para  $b_s - b_j > 10^\circ$ ), o "desfavorables" lo que supone un valor de  $F3$  de -50 (para  $0 < b_s - b_j < 10^\circ$ ). La diferencia con el valor de  $F3$  "normal" (que es -25) es muy grande.

Para la rotura por vuelco no se supone que puedan existir condiciones desfavorables, o muy desfavorables, ya que el vuelco rara vez produce roturas bruscas y en muchos casos los taludes con vuelcos de estratos se mantienen. Se ha utilizado la condición de GOODMAN-BRAY (1977) para evaluar la probabilidad de vuelco. Sin embargo se ha observado que muchos vuelcos se producen para valores ligeramente distintos, lo que puede interpretarse como que la resistencia al esfuerzo cortante se reduce unos 5%, sea por el hecho de que en muchos taludes volcados las juntas están meteorizadas, o porque el ángulo de rozamiento experimente una ligera reducción en el caso de roturas rotacionales (GOODMAN, 1976). La citada condición de GOODMAN-BRAY sólo es válida para el caso de fallas con pie (toe) volcador (que son más frecuentes en la práctica), pero no para el caso de pie deslizante donde la superficie basal del macizo roto aflora en el talud con el aspecto de una junta deslizada.

**Cuadro 2.6.** Factor de ajuste para las juntas.

Caso		Muy favorable	Favorable	Normal	Desfavorable	Muy desfavorable
<i>P</i>	$ a_j - a_s $	> 30°	30°-20°	20°-10°	10°-5°	< 5°
<i>T</i>	$ a_j - a_s - 180 $					
<i>P/T</i>	<i>F1</i>	0.15	0.40	0.70	0.85	1.00
<i>P</i>	$ b_j $	< 20°	20°-30°	30°-35°	35°-45°	> 45°
	<i>F2</i>	0.15	0.40	0.70	0.85	1.00
<i>T</i>	<i>F2</i>	1	1	1	1	1
<i>P</i>	$b_j - b_s$	> 10°	10°-0°	0°	0°-(-10°)	< -10°
<i>T</i>	$b_j + b_s$	< 110°	110°-120°	> 120°		--
<i>P/T</i>	<i>F3</i>	0	-6	-25	-50	-60

<i>P</i> Rotura Plana	$a_s$ Dirección de buzamiento del talud	$a_j$ Dirección de buzamiento de las juntas
<i>T</i> Rotura por vuelco	$b_s$ Buzamiento del talud	$b_j$ Buzamiento de las juntas

Fuente: Romana, 1985.

- **F4:** es un factor de ajuste que dependerá de la voladura empleada o a emplear para conformar el talud. El factor de ajuste según el método de excavación,  $F4$ , ha sido establecido empíricamente (Ver Cuadro 2.7).

Los taludes naturales son más estables, a causa de los procesos previos de erosión sufridos por el talud, y de los mecanismos internos de protección que muchos de ellos poseen (vegetación, desecación superficial, drenaje torrencial, etc).  $F4=+15$ .

El precorte aumenta la estabilidad de los taludes en media clase  $F4=+10$ . Las técnicas de voladura suave (recorte), bien ejecutadas, también aumentan la estabilidad de los taludes,  $F4=+8$ . Las voladuras normales aplicadas con métodos razonables no modifican la estabilidad,  $F4=0$ . Las voladuras defectuosas son muy frecuentes y pueden dañar seriamente a la estabilidad  $F4=-8$ .

La excavación mecánica de los taludes por ripado sólo es posible cuando el macizo rocoso está muy fracturado o la roca blanda. Con frecuencia se combina con pre voladuras poco cuidadas. Las caras del talud presentan dificultades de acabado. Por ello el método ni mejora ni empeora la estabilidad  $F4=0$ . Los tipos de estabilidad de los taludes según la clasificación de ROMANA se puede apreciar en el Cuadro 2.8.

**Cuadro 2.7.** Factor de Ajuste Según el Método de Excavación.

Método	Talud natural	Precorte	Voladura suave	Voladura o mecánico	Voladura deficiente
$F4$	+15	+10	+8	0	-8

Fuente: Romana, 1985.

**Cuadro 2.8.** Clases de Estabilidad Según el SMR.

Clase N°	V	IV	III	II	I
SMR	0-20	21-40	41-60	61-80	81-100
Descripción	Muy mala	Mala	Regular	Buena	Muy buena
Estabilidad	Totalmente inestable	Inestable	Parcialmente estable	Estable	Totalmente estable
Roturas	Grandes roturas por planos continuos o por la masa	Juntas o grandes cuñas	Algunas juntas o muchas cuñas	Algunos bloques	Ninguna
Tratamiento	Reexcavación	Corrección	Sistemático	Ocasional	Ninguno

Fuente: Romana, 1985.

El valor final del índice de clasificación SMR es:

$$SMR = RMR + (F1 \times F2 \times F3) + F4$$

La clasificación no tiene instrucciones específicas para las roturas en cuña. El procedimiento a seguir es obtener el índice *SMR* para cada una de las familias de las juntas. Se adoptará para el talud el valor menor del índice *SMR* obtenido para cada familia de juntas. En rocas meteorizadas y en las evolutivas la clasificación debe ser aplicada dos veces: para la situación inicial de roca sana y para la situación futura de roca meteorizada. Los índices obtenidos serán distintos. Según el valor del índice *SMR* se obtienen 5 clases de estabilidad, definidas simplifcadamente en el Cuadro 2.9. Los parámetros de correccion a los factores de ajuste se muestran en el Cuadro 2.10.



**Cuadro 2.9.** Valores límites del SMR encontrados empíricamente para cada forma de rotura.

Roturas planas		Roturas en cuña	
SMR > 60	Ninguna	SMR > 75	Muy pocas
60 > SMR > 40	Importantes	75 > SMR > 49	Algunas
40 > SMR > 15	Muy grandes	55 > SMR > 40	Muchas

Roturas completas (tipo suelo)		Roturas por vuelco	
SMR > 30	Ninguna	SMR > 65	Ninguna
30 > SMR > 10	Posible	65 > SMR > 50	Menores
		40 > SMR > 30	Muy grandes

Fuente: Modificado de Romana, 1985.

**Cuadro 2.10.** Parámetros de corrección F1, F2, F3 y F4 de la clasificación SMR.

Tipo de rotura			Muy favorable	Favorable	Normal	Desfavorable	Muy desfavorable
Plana	A	$ a_j - a_s $	> 30°	30° - 20°	20° - 10°	10° - 5°	< 5°
Vuelco		$ a_j - a_s - 180 $					
Cuña		$ a_j - a_s $					
F1			0.15	0.40	0.70	0.85	1.00
	B	$ b_j  \text{ ó }  b_i $	< 20°	20° - 30°	30° - 35°	35° - 45°	> 45°
Plana/cuña	F2		0.15	0.40	0.70	0.85	1.00
Vuelco			1.0				
Plana	C	$b_j - b_s$	> 10°	10° - 0°	0°	0° - (-10°)	< (-10°)
Cuña		$b_i - b_s$					
Vuelco		$b_j + b_s$					
F3			0	-6	-25	-50	-60
MÉTODO EXCAVACIÓN			F4	MÉTODO EXCAVACIÓN			F4
Talud normal			+15	Voladura normal o excavación mecánica			0
Precorte			+10	Voladura deficiente			-8
Voladura suave			+8				

Fuente: Modificado de Romana, 1985.

### 2.3. DEFINICIONES CONCEPTUALES

#### **Roca intacta**

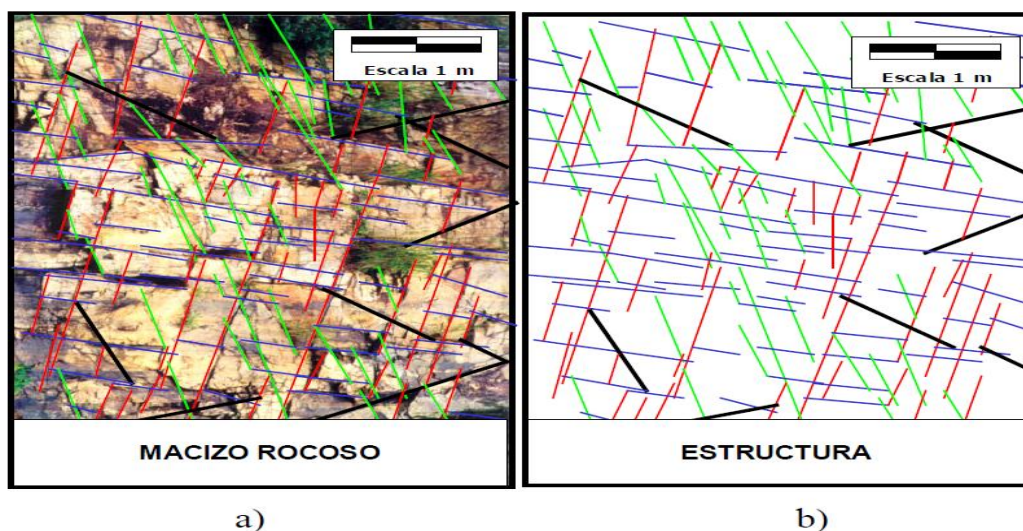
Se define ROCA como un agregado sólido formado por uno o varios minerales, que se encuentra ocupando grandes extensiones de la corteza terrestre. En nuestra disciplina se habla en muchas ocasiones de ROCA o ROCA INTACTA para referirse a un elemento (trozo, bloque, probeta) de roca que no presenta discontinuidades observables.

En la naturaleza las rocas aparecen muy comúnmente atravesadas por distintos caracteres geológicos estructurales y discontinuidades de origen geológico variable como la estratificación, esquistosidad, pliegues, fallas, y juntas o diaclasas. Al conjunto de estas discontinuidades que atraviesan la roca se le suele denominar ESTRUCTURA del macizo rocoso.

#### **Macizo rocoso**

Se define macizo rocoso como la forma en la que se presentan las rocas en el medio natural. Así pues un macizo rocoso estará compuesto por la roca y la estructura, que a su vez contienen planos de estratificación, fallas, juntas, pliegues y otros caracteres estructurales. Los macizos rocosos son por tanto discontinuos y pueden presentar propiedades heterogéneas y/o anisótropas.

Se ilustran las definiciones de estructura y macizo rocoso en la Fig. 2.12. En ella se muestra primero (Fig. 2.12a) una fotografía de un macizo rocoso sobre la que se han marcado las discontinuidades observables in-situ, que se han llevado posteriormente sobre fondo blanco para ilustrar la definición de estructura (Fig. 2.12b). En la realidad, hay que pensar que esta estructura será tridimensional.



**Figura 2.12.** Definición ilustrativa de un macizo rocoso (a) y estructura (b) del macizo rocoso.

Fuente: Modificado de Romana, 1985.

A partir de la definición de macizo rocoso y de lo que la naturaleza nos muestra, ha de quedar claro desde el principio de este libro que atendiendo a los acrónimos propuestos por Hudson y Harrison (1995), un macizo rocoso es un “DIANE” (acrónimo de Discontinuous, Inhomogeneous, Anisotropic & Non-Elastic que quiere decir discontinuo, heterogéneo, anisótropo e inelástico) y no un “CHILE” (acrónimo de Continuous, Homogeneous, Isotropic & Linear-Elastic que quiere decir continuo, homogéneo, isótropo y linealmente elástico).

### **Discontinuidad**

Es cualquier plano de origen mecánico o sedimentario que independiza o separa los bloques de matriz rocosa en un macizo rocoso. (Gonzales, 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, 2013).

### **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).

### **Meteorización**

Denominada también intemperización, está relacionada con la modificación que sufre la superficie de la roca o en sus proximidades, debido a la acción de agentes atmosféricos. El grado de la meteorización dependerá de las condiciones climatológicas, morfológicas y la composición de la masa rocosa. La meteorización se divide en meteorización física, química y biológica. (Sociedad Nacional de Minería Petróleo y Energía, 2004).

### **Alteración**

La alteración de la roca o más propiamente dicha, alteración hidrotermal, se produce por la ascensión de fluidos o gases magmáticos a altas temperaturas a través de fracturas o zonas de falla. Éstos afectan a los rellenos de las zonas de falla y sus cajas, originando reemplazamientos y rellenos, que modifican las condiciones del macizo rocoso en los cuales se emplazan. Algunos tipos de alteración, como la silicificación y en menor grado la calcificación, mejoran las características de la masa rocosa, incluyendo las zonas de falla. Otros, como la propilitización, disminuyen levemente las condiciones debido a la presencia de cloritas en las paredes de las fracturas. La sericitización y la argilitización (aumento de minerales arcillosos) son las alteraciones más desfavorables para los macizos rocosos donde se emplazan. (Sociedad Nacional de Minería Petróleo y Energía, 2004).

### **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 de 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).

### **Suelo**

Se define suelo como un material formado por partículas sólidas y poros rellenos de agua o aire, sin cementación o poco cementado, originado por la alteración de las rocas y sobre el que se desarrolla la mayor parte de la actividad humana y biológica. Desde el punto de vista genético los suelos son rocas que se han ido erosionando y alterando; y las rocas son suelos que sometidos a determinados niveles de presión y temperatura y condiciones químicas se han ido litificando mediante diversos tipos de procesos físico-químicos. Existen pues materiales de transición entre las rocas y los suelos y viceversa, denominados “roquisuelos”, que se estudian analizan mediante técnicas mixtas propias de la mecánica de rocas y la de suelos.

### **Taludes en roca**

A diferencia de los suelos, la estructura que presenta las rocas es complicada, ya que bajo su apariencia sólida y homogénea se esconden anisotropías originadas por grietas, planos de fractura o estratificación, diaclasas y plegamientos que hacen que su comportamiento mecánico no sea el esperado a primera vista. Los taludes naturales o los excavados en roca están sujetos de forma permanente a procesos de inestabilidad, provocados por la acción de agentes erosivos – el agua en sus diversos estados es el principal – en el caso

de los primeros, a los que se une la propia geometría del talud artificial en el segundo caso. Otro factor que también influye en la estabilidad es la sismicidad natural o provocada por las voladuras realizadas para excavar dicho talud.

### **Estabilidad**

El concepto “estabilidad” es indeterminado, pues ningún talud hecho en roca o suelo puede ser garantizado como estable durante su vida útil en un periodo de muchos años, pues condiciones climáticas, hidrológicas, tectónicas así como la actividad del ser humano en las cercanías de la estructura pueden traer cambios que afecten la estabilidad de taludes, ya sea artificiales o naturales. En particular, uno no debería de descuidar la posibilidad de que la roca o el suelo se saturen de agua con el tiempo. En sí, el término “falla de talud” se refiere a cualquier inestabilidad que afecte la operación del hombre en un ambiente geológico natural. (Jumikis 1983).

### **Mecánica de rocas**

Una definición comúnmente aceptada de mecánica de rocas propuesta por el comité americano de esta disciplina en 1974 sería: “Mecánica de rocas es la ciencia teórica y aplicada que estudia el comportamiento de mecánico de las rocas y los macizos rocosos. Sería pues la rama de la ingeniería de minas dedicada al estudio de la respuesta de las rocas y macizos rocosos al campo de fuerzas que actúan en su entorno”.

Así definida, esta disciplina es básica para la minería, ya que el hecho de realizar excavaciones modifica los campos de fuerza en el entorno físico de las rocas. Como se podrá ver en el desarrollo de este curso, el estudio de la respuesta de los materiales requiere la aplicación de un buen número de técnicas analíticas desarrolladas específicamente para la materia, y que hoy día forman parte de su cuerpo de doctrina. La mecánica de rocas forma a su vez parte de la geotecnia (fr.) o geomecánica (ing.) que

estudia el comportamiento de todos los materiales de origen geológicos por si solos y en su interacción con estructuras y de la que también forma parte la mecánica de suelos.

## **2.4. HIPÓTESIS**

### **2.4.1. Hipótesis general**

Un adecuado análisis de estabilidad de taludes permitirá establecer un factor de seguridad aceptable y elegir los tipos de reforzamiento adecuados en el proyecto de Regulación del Río Pumamayo.

### **2.4.2. Hipótesis específicas**

- El análisis de estabilidad de taludes permitirá encontrar los factores de seguridad aceptables para los taludes del portal de ingreso y salida del túnel Pumamayo y en el aliviadero de demasías de la presa Pumamayo.
- Con el análisis de estabilidad de taludes se podrá determinar el tipo de reforzamiento necesarios ante eventuales problemas de inestabilidad en los taludes del portal de ingreso y salida del túnel Pumamayo y en el aliviadero de demasías de la presa Pumamayo.

## CAPÍTULO III

### METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

#### 3.1. DISEÑO METODOLÓGICO

De acuerdo a la naturaleza del trabajo de investigación, por su nivel y las características de estudio es de tipo descriptivo experimental, en razón a las variables desarrolladas en la investigación. La presente investigación denominada Análisis de estabilidad de taludes en el proyecto de Regulación del Río Pumamayo, detalla el análisis de estabilidad de los siguientes taludes:

- Portal de entrada del Túnel de derivación Río Pumamayo.
- Portal de salida del Túnel de derivación Río Pumamayo.
- Aliviadero de Presa.

#### 3.2. POBLACIÓN

El Proyecto de Regulación del Río Pumamayo está ubicado en el río Ajoyajota o Pumamayo, afluente por la izquierda del río Macusani, tributario del río San Gabán.



Políticamente el área de emplazamiento de las obras de regulación pertenece al distrito de Macusani, provincia de Carabaya y del departamento de Puno.

### **3.3. MUESTRA**

El presente estudio, detalla en análisis de estabilidad de taludes en:

- Portal de entrada y salida del túnel de derivación del río Pumamayo.
- Aliviadero de demasías de la presa Pumamayo.

### **3.4. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES**

Cada variable en el análisis de estabilidad será operacionalizadas de acuerdo a su escala de medición (Cuadro 3.1).

#### **3.4.1 Variables independientes**

**a.** Datos estructurales:

- Dirección de buzamiento.
- Buzamiento.

**b.** Propiedades físicas del macizo rocoso:

- Peso específico.
- Cohesión.
- Angulo de fricción.
- Resistencia a la compresión uniaxial.
- Permeabilidad.

**c.** Caracterización y clasificación geomecánica del macizo rocoso:

- Rock Quality Designation RQD.

- RMR de Bienawski.
- Q de Barton.
- Geological Strength Index (GSI).
- SMR de Romana.

### 3.4.2 Variables dependientes

Las variables dependientes son los parámetros de diseño de taludes, como son:

- Ángulo final del talud.
- Factor de seguridad.

### 3.4.3 Operacionalización de variables

La operacionalización de variables se muestra en el Cuadro 3.1.

**Cuadro 3.1.** Variables e indicadores.

VARIABLES		INDICADORES	ÍNDICES (Escala de medición)
<b>Variables dependientes</b>	Parámetros de diseño de taludes:	Factor de seguridad	Número adimensional
		Ángulo del talud	Grados (°)
<b>Variables independientes</b>	Datos estructurales del macizo rocoso.	Dirección de buzamiento	Grados (°)
		Buzamiento	Grados (°)
	Propiedades físicas del macizo rocoso:	Peso específico	g/cm <sup>3</sup>
		Cohesión	MPa
		Angulo de fricción	Grados (°)
		Resistencia a la compresión uniaxial	MPa
	Caracterización y clasificación geomecánica del macizo rocoso:	Permeabilidad	m/seg
		Rock Quality Designation RQD	Índice RQD
		RMR de Bienawski	Índice RMR
		Q de Barton	Índice Q
		Geological Strength Index (GSI)	Índice GSI
	SMR de Romana	Índice SMR	
<b>Variables intervinientes</b>		Túnel Pumamayo y aliviadero de demasías de la presa Pumamayo	

Fuente: Elaboración propia.

### **3.5. TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS**

Es indispensable determinar las técnicas que se van a aplicar, como el análisis del control operacional, el análisis estadístico y porcentual, la observación y medición; para determinar los resultados del análisis de la estabilidad en los taludes.

#### **3.5.1 Instrumentos de recolección de datos**

Los instrumentos que se utilizaron en el presente estudio fueron las investigaciones de campo, ensayos de laboratorio y el modelamiento con software.

##### **a. Investigaciones de campo**

Las investigaciones de campo constituyen la parte más esencial de los estudios geológicos, estructurales y geotécnicos necesarios en todo proyecto de estabilidad de taludes. De ellos se obtienen los parámetros y propiedades que definen las condiciones del macizo rocoso. El objetivo de las investigaciones de campo es conocer y cuantificar las condiciones de los materiales con los que se van a trabajar, ya que estos pueden afectar la viabilidad, diseño y construcción de una obra o estructura.

Para el presente estudio se realizaron los siguientes trabajos de campo:

- Mapeo geológico.
- Mapeo estructural.
- Mapeo geotécnico.
- Identificación de los modos de falla estructural en el talud.

**b. Ensayos de laboratorio**

Se realizaron ensayos que permitieron obtener las propiedades mecánicas de los tipos de macizo rocoso presentes en el talud para la identificación de los modos de falla estructural presentes en los taludes del portal de ingreso y salida del túnel Pumamayo y del aliviadero de demasías de la presa Pumamayo, en tal forma que son lo más representativos de las situaciones reales en el campo.

Los ensayos de laboratorio realizados de cada una de las litologías presentes en el talud son las siguientes:

- Determinación de la densidad.
- Ensayo de compresión uniaxial (UCS).
- Ensayo de carga puntual (PLT).

**c. Modelamiento con software**

El modelamiento de los datos se realizó con el uso del paquete de Rocscience.

**3.6. Técnicas para el procesamiento de la información**

Se aplicaron métodos, instrumentos y procedimientos de acuerdo a lo siguiente:

- Revisión de datos obtenidos.
- Elaboración de cuadros estadísticos para el control de la eficiencia.
- Presentación gráfica y modelamiento con software geomecánico.

## CAPÍTULO IV

### CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

#### 4.1. GENERALIDADES

##### 4.1.1. Ubicación

La cuenca del río Pumamayo pertenece al ámbito del distrito de Macusani, provincia de Carabaya, departamento de Puno y se ubica sobre los 4 600 msnm. El proyecto de regulación del río Pumamayo se ubica a 11 km de la ciudad de Macusani, aproximadamente, en las coordenadas geográficas 14.05° de latitud Sur y 70.33° de longitud Oeste, entre las siguientes coordenadas (Sistema WGS84) (Ver Cuadro 4.1):

**Cuadro 4.1.** Coordenadas de ubicación del proyecto.

Norte	Este
8 443 800	353 550
8 443 800	353 800
8 444 000	353 550
8 444 000	353 800

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.1.2. Accesos

El acceso a la zona del proyecto es por vía terrestre mediante una carretera asfaltada de 253 km de longitud, desde la ciudad de Puno. La ruta del acceso indicado es el siguiente:

**Cuadro 4.2.** Coordenadas de ubicación del proyecto.

Tramo de carretera	Características de la carretera	Distancia (km)
Puno – Juliaca	Asfaltada – Interoceánica	44
Juliaca – Macusani	Asfaltada – Interoceánica	209
Macusani – Desvío Munay Paqocha	Asfaltada – Interoceánica	4.3
Desvío Munay Paqocha – Ajoyajota	Trocha carrozable	5.9

Fuente: Elaboración propia.

## 4.2. CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA

### 4.2.1. Geología regional

#### a. Geomorfología

El área del estudio se ubica en la cordillera oriental de los Andes de la parte sureste del país. El embalse de Ajoyajota está proyectado en la cuenca inferior del río Pumamayo, donde existe una depresión natural originada por procesos glaciales. La depresión de Ajoyajota es parte de un valle glacial y posiblemente el resto de una antigua laguna. Se trata de una depresión de 3.0 km de largo y 0.8 km de ancho máximo.

El fondo de la depresión es una llanura de suave inclinación, por donde el río discurre formando meandros. En la parte frontal de la depresión se ha labrado un valle encañonado que se inicia en la laguna y termina a 1.5 km aguas abajo. El valle tiene sección transversal en “V”, con un fondo que no pasa de 2 m de ancho y flancos que se inclinan con 40°.

**b. Litoestratigrafía**

Para la identificación de las formaciones geológicas y la asignación de su edad, se ha tomado como base la información del Boletín N° 79, Serie “A” de la Carta Geológica Nacional, cuadrángulo de Macusani, elaborado por el Instituto de Geología y Minería (INGEMMET), publicado en 1996, con mapa geológico a escala 1:100 000. Regionalmente, las rocas basales que afloran en las zonas de estudio de la presa y embalse Ajoyajota son de origen sedimentario, constituidas por limolitas y areniscas, plegadas y en discordancia entre las formaciones de edad Paleozoica y Mesozoica (Ver Cuadro 4.3).

**Cuadro 4.3.** Columna lito-estratigráfica área del Proyecto.

EDAD			UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS		
			IDENTIFICACIÓN	SÍMBOLOS	DESCRIPCIÓN
CENOZOICA	Cuaternario	Holoceno	Depósito aluvial	Qh-al	Grava arenosa
			Depósito fluvio-glacial	Qh-fg	Grava arenosa con algunos bolones
		Pleistoceno	Depósito glacial	Qpl-mo	Gravas con matriz arenolimsa y bloques aislados, compacta
	Neógeno		Fm. Quenamari Mbo. Yapamayo	Np-ya	Tobas blanca grisáceas de composición riolítica, masiva
	Paleógeno		Fm. Cayconi	PN-ca	Basaltos gris oscuros de textura porfírica con fenocristales de plagioclasa
MESOZOICA	Cretáceo	Inferior	Fm. Viluyo	Ki-vi	Areniscas cuarzosas y arcósicas estratificadas con limo-arcillitas rojas laminares
			Fm. Huancane	Ki-hu	Areniscas cuarzosas blanquecina, grano medio que yacen en estratos gruesos
PALEOZOICA	Permiano	Inferior	Gpo. Mitu	Ps-mi	Lavas andesíticas porfíricas y brechas con litoclastos volcánicos de color rojizo
			Gpo. Copacabana	Pi-c	Calizas micríticas gris claras con niveles de dolomitas y calizas nodulares en la base
	Carbonífero	Inferior	Gpo. Ambo	Ci-a	Areniscas cuarzosas blanquecinas a gris oscuras intercaladas con limolita, limo-arcillitas negras carbonosas y violáceas
			Fm. Ananea	SD-a	Pizarras y filitas gris oscuras foliadas y venillas de cuarzo

Fuente: INGEMMET.

#### 4.2.2. Geología en zonas de obras proyectadas

##### a. Morfología

La morfología en la zona del embalse está constituida por pendientes suaves y superficies onduladas que contrastan con otros sectores agrestes de alta montaña. El área del embalse está limitada mayormente por depósitos glaciales (morrenas), fluvioglaciales, aluviales y bofedales, con afloramientos aislados de areniscas Huancané y tobas riolíticas de la formación Quenamari. El río Laccamayo forma un valle encañonado donde se emplazará la presa proyectada Pumamayo. Esta unidad corresponde a la garganta topográfica, tallada paralela a horizontes meteorizados, foliados y erosionables de limolitas, limolitas carbonosas y limolitas lutáceas del Grupo Ambo.

##### b. Litoestratigrafía

Litológicamente las rocas representativas están conformada por limolitas, limolitas carbonosas, limoarcillitas (limolitas lutáceas), areniscas y zonas de transición entre las limolitas y areniscas pertenecientes al Grupo Ambo (Ci-a1, a3). Sobreyacen en discordancia al Grupo Ambo, areniscas blanquecinas de la formación Huancané (Ki-hu). En la secuencia estratigráfica que se presenta a lo largo del valle encañonado del río Laccamayo, en los registros de las perforaciones diamantinas realizadas por el Consultor, se encontraron sectores con algunas limolitas que presentan poca a moderada silicificación, las fracturas presentan oxidaciones de fierro y porcentajes variables de diseminación de sulfuros metálicos.

Los depósitos cuaternarios reconocidos están constituidos por:

- Acumulaciones morrénicas (Q-gl) ubicadas en ambos flancos del área de embalse, separando como un tabique natural a las lagunas Ajoyajota y Parinajota. Su



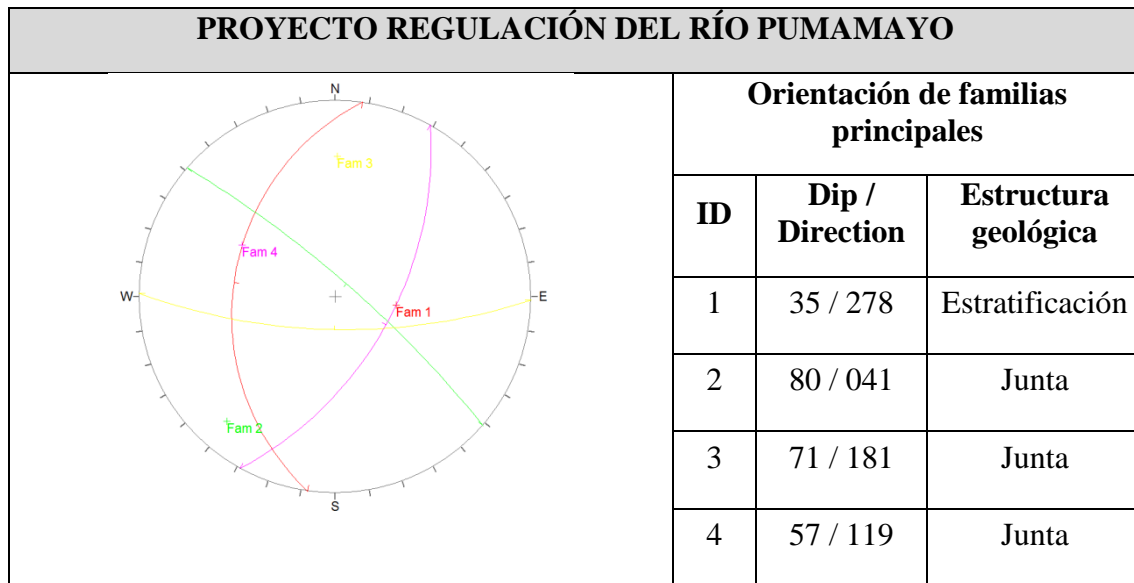
litología consiste de suelos arena limosos ligeramente arcillosos, con inclusiones de gravas, cantos, bolos y bloques, de tonalidades marrón claras a gris claras. Presentan buena consistencia, son densos, poco permeables a impermeables.

- Los depósitos fluvio-glaciares (Q-fgl), corresponde a las terrazas ubicadas en la parte noreste del embalse. Su litología consiste de bancos de cantos, gravas y arena, muy semejantes a los depósitos de origen aluvial.
- Las acumulaciones lacustrinas (Q-la), se han formado en el fondo del área de embalse de la laguna Ajoyajota y área del eje de presa Pumamayo; están constituidas por arenas limo arcillosas con materia vegetal descompuesta formando zonas pantanosas, que se han caracterizado como acumulaciones de bofedales (Q-bo). Cerca del eje de presa se han delimitado acumulaciones lagunares cubiertas por depósitos coluviales (Q-co-la).
- Depósitos fluviales (Q-fl) localizados en el cauce del río Laccamayo está conformado por limitado material fluvial. En la cola del embalse, denominada Zona de Encuentro, en el cauce del río, se encuentran acumulaciones de gravas y cantos con relleno arenoso y limo arenoso, cuyo espesor se infiere en más de 5 m.

### **c. Geología estructural**

En ambos estribos del eje de presa Pumamayo se ha obtenido los elementos de orientación de los planos de estratificación y de fracturamientos. La información obtenida ha sido procesada mediante el Software Dips versión 5.1 Rocscience (Ver Fig. 4.1), M.S. Diederichs & E. Hoek, University of Toronto, el cual permite identificar las familias de discontinuidades presentes en el afloramiento de roca.

La zona involucrada con la estructura de la presa Pumamayo no presenta condiciones geológicas y morfológicas que demuestren que la secuencia estratigráfica del grupo Ambo y depósitos cuaternarios, se encuentren afectados por una falla cuaternaria activa. El cauce actual del valle encañonado del Laccamayo ha profundizado su lecho siguiendo el rumbo de horizontes erosionables de limoarcillitas y limolitas carbonosas.



**Figura 4.1.** Proyección estereográfica de las discontinuidades.

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.3. CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA DEL MACIZO ROCOSO

Para evaluar las características y el comportamiento mecánico del macizo rocoso se han realizado diez (10) estaciones geomecánicas (Ver Cuadro 4.4) adicionales a las investigaciones realizadas en el Estudio Geotécnico. Asimismo se ejecutaron diez (10) perforaciones diamantinas (Ver Cuadro 4.5), distribuidas de manera adecuada, para la zona de cimentación de la presa y para el túnel de derivación propuesto. Las unidades litológicas caracterizadas para la ubicación de la presa y túnel de desvío, han sido definidas por la evaluación geológica, siendo las siguientes: limolita, limolita carbonosa, limolita lutácea y arenisca cuarzosa.

**Cuadro 4.4.** Estaciones geomecánicas.

Estación geomecánica	Litología	Coordenadas		Profundidad	Muestra /ensayo	Observaciones
		Norte	Este			
EG-1A	Limolita carbonosa	8 443 907.178	353 666.250	Superficial	M-1/CP-PF	
EG-2A	Limolita carbonosa	8 443 928.977	353 665.037	Superficial	M-1/CP-PF	
EG-3A	Limolita carbonosa	8 443 964.009	353 673.790	S/M		Similar a la M-1 de la EG-2A
EG-4A	Limolita	8 443 910.337	353 675.792	Superficial	M-1/CP-PF	
EG-5A	Limolita carbonosa	8 443 912.769	353 659.613	Superficial	M-1/CP-PF	
EG-6A	Limolita carbonosa	8 443 881.421	353 642.716	S/M		Similar a la M-1 de la EG-5A
EG-7A	Limolita	8 443 816.681	353 688.758	S/M		Similar a la M-1 de la EG-4A
EG-8A	Limolita	8 443 952.784	353 694.122	Superficial	M-1/CP-PF	
EG-9A	Arenisca cuarzosa	8 443 979.306	353 749.006	S/M		
EG-10A	Limolita	8 444 048.616	353 658.201	S/M		Similar a la M-1 de la EG-4A

Fuente: Estudio de Factibilidad – SVS Ingenieros S.A.C.

**Cuadro 4.5.** Perforaciones diamantinas.

Sondeo	Ubicación	Coordenadas		Piezómetro	Prof. perforada
		Norte	Este		
PP – 1	Estribo izq.	8 443 907.94	353 719.15	52.50	52.50
PP – 2	Cauce	8 443 911.15	353 670.13	N.A	57.80
PP – 2'	Ladera der.	8 443 911.65	353 644.21	17.50	50.00
PP – 3	Estribo der.	8 443 914.65	353 613.38	28.50	45.25
PP – 4	Cauce	8 443 953.32	353 667.80	N.A	54.25
PP – 5	Ladera der.	8 443 932.47	353 637.14	N.A	50.30
PP – 6	Cauce	8 443 881.40	353 661.61	N.A	50.00
PT – 1	Estribo izq.	8 444 057.58	353 661.03	N.A	15.20
PT – 2	Estribo izq.	8 443 993.66	353 694.96	N.A	35.20
PT – 3	Estribo izq.	8 443 870.42	353 714.15	N.A	45.20

Fuente: Estudio de Factibilidad – SVS Ingenieros S.A.C.

Como recopilación de información, se considera las siguientes investigaciones geotécnicas para la interpretación del modelo geomecánico (Ver los Cuadros 4.6 y 4.7):

**Cuadro 4.6.** Sondeo diamantino ejecutado.

Sondeo	Coordenadas		Cotas (msnm)	Profundidad (m)	Inclinación	Dirección
	Norte	Este				
SD-1	8 443	353 728.236	4 574.770	20.00	60°	S 80° E
SD-2	8 443	353 700.933	4 558.500	15.00	60°	S 80° E
SD-3	8 443	353 677.417	4 542.500	35.00	90°	Vertical
SD-4	8 443	353 618.897	4 575.795	80.00	45°	S 80° E

Fuente: Estudio de Factibilidad – SVS Ingenieros S.A.C.

**Cuadro 4.7.** Estaciones geomecánicas.

Estación geomecánica	Litología	Coordenadas	
		Norte	Este
EG-01	Limolita	8 444 057.584	353 661.031
EG-02	Limolita	8 444 077.407	353 661.665
EG-03	Limolita carbonosa	8 444 020.251	353 637.160
EG-04	Limolita	8 444 042.942	353 652.498
EG-05	Limolita carbonosa	8 443 939.207	353 649.113
EG-06	Limolita carbonosa	8 443 850.901	353 649.514
EG-07	Limolita	8 443 821.092	353 682.472
EG-08	Limolita	8 443 774.825	353 687.105
EG-09	Limolita carbonosa	8 443 898.993	353 661.430

Fuente: Informe Geotécnico - CESEL S.A.

#### 4.4. PROPIEDADES DE LA ROCA INTACTA

##### a. Gravedad específica

Para determinar la gravedad específica de la roca intacta, se realizaron cinco (5) ensayos en las muestras de estaciones geomecánicas (Ver Cuadro 4.8) y diez (10) ensayos en muestras de perforaciones (Ver Cuadro 4.9), debido a que se cuenta con información de estudios anteriores.

**Cuadro 4.8.** Gravedad específica – Estaciones geomecánicas.

Estación geomecánica	Litología	Gravedad específica	Absorción (%)	Densidad (kg/cm <sup>3</sup> )
EG-1A	Limolita carbonosa	2.35	3.10	2.34
EG-2A	Limolita carbonosa	2.38	3.05	2.37
EG-4A	Limolita	2.41	2.83	2.40
EG-5A	Limolita carbonosa	2.28	5.02	2.26
EG-8A	Limolita	2.33	3.56	2.32

Fuente: Informe Geotécnico - CESEL S.A.

**Cuadro N°4.9.** Gravedad específica – Perforaciones diamantinas.

Sondeo	Litología	Muestra	Profundidad (m)	Gravedad específica	Absorción (%)	Densidad (kg/cm <sup>3</sup> )
PP-1	Limolita	M-1	28.40 – 29.40	2.49	3.33	2.48
PP-2	Limolita Areniscosa	M-2	23.05 – 23.40 29.40 – 29.80	2.52	2.37	2.51
	Limolita	M-3	9.70 – 10.70	2.57	0.41	2.56
IP1-1	Arenisca	M-4	13.00 – 14.20	2.43	2.44	2.42
PT-2	Arenisca Limosa	M-5	13.50 – 13.70 25.70 – 26.40	2.54	0.61	2.53
PT-1	Limolita	M-6	4.60 – 4.85 9.50 – 10.20	2.59	1.55	2.58
PT-3	Limolita	M-7	31.00 – 32.40 42.25 – 42.40	2.52	2.73	2.51
PP-4	Arenisca	M-8	28.95 – 29.95	2.50	1.25	2.49
	Limolita	M-9	49.70 – 50.85	2.66	0.55	2.65
PT-3	Limolita	M-10	31.30 – 32.30	2.34	4.73	2.32
PP-5	Limolita Carbonosa	M-11	31.50 – 32.60	2.59	1.89	2.58
PP-6	Limolita Bandeada	M-12	38.90 – 39.90	2.65	0.99	2.65

Fuente: Informe Geotécnico – CESEL S.A.

Los valores asumidos por el estudio de factibilidad con relación a la gravedad específica son los siguientes:

- Limolita  $0.025 \text{ MN/m}^3$
- Arenisca y limolita  $0.025 \text{ MN/m}^3$
- Arenisca limosa  $0.024 \text{ MN/m}^3$
- Arenisca cuarzosa  $0.026 \text{ MN/m}^3$

Los valores asumidos para la determinación de los parámetros del macizo son los siguientes:

- Limolita  $0.0240 \text{ MN/m}^3$
- Limolita carbonosa  $0.0235 \text{ MN/m}^3$
- Limolita lutacea  $0.0228 \text{ MN/m}^3$
- Arenisca cuarzosa  $0.255 \text{ MN/m}^3$

**a. Resistencia a compresión simple**

Para determinar la resistencia a compresión simple de la roca intacta se ejecutaron quince (15) ensayos de carga puntual. Para estimar la resistencia a compresión simple a partir del índice de carga puntual ( $I_{S50}$ ), se utilizaron los factores de correlación, los cuales se muestran en los ensayos realizados.

Solo se ejecutaron 5 ensayos para las muestras extraídas de las estaciones geomecánicas (Ver Cuadro 4.10) y 10 para las muestras de perforaciones (Ver Cuadro 4.11), debido a que se cuenta con información en estudios anteriores.

**Cuadro 4.10.** Resistencia a compresión simple – Estaciones geomecánicas.

Estación geomecánica	Litología	Resistencia a la Compresión Simple (MPa)		
		Máximo	Mínimo	Promedio
EG-1A	Limolita carbonosa	94	29	69
EG-2A	Limolita carbonosa	43	16	28
EG-4A	Limolita	43	22	37
EG-5A	Limolita carbonosa	34	15	27
EG-8A	Limolita	30	9	18

Fuente: Informe Geotécnico - CESEL S.A.

**Cuadro 4.11.** Resistencia a compresión simple – Perforaciones diamantinas.

Sondeo	Litología	Muestra	Profundidad (m)	Resistencia a la compresión simple (MPa)		
				Máximo	Mínimo	Promedio
PP-1	Limolita	M-1	28.40 – 29.40	95	37	68
PP-2	Limolita Areniscosa	M-2	23.05 – 23.40 29.40 – 29.80	88	21	61
	Limolita	M-3	9.70 – 10.70	411	64	237
IP1-1	Arenisca	M-4	13.00 – 14.20	80	27	55
PT-2	Arenisca Limosa	M-5	13.50 – 13.70 25.70 – 26.40	271	127	218
PT-1	Limolita	M-6	4.60 – 4.85 9.50 – 10.20	95	27	57
PT-3	Limolita	M-7	31.00 – 32.40 42.25 – 42.40	80	36	57
PP-4	Arenisca	M-8	28.95 – 29.95	93	28	60
	Limolita	M-9	49.70 – 50.85	320	70	184
PT-3	Limolita	M-10	31.30 – 32.30	66	29	46
PP-5	Limolita Carbonosa	M-11	31.50 – 32.60	120	44	77
PP-6	Limolita Bandeada	M-12	38.90 – 39.90	114	63	90

Fuente: Informe Geotécnico - CESEL S.A.

Los valores asumidos por el estudio de factibilidad en relación a la resistencia a compresión simple de la roca intacta es la siguiente:

- Limolita	12.14 MPa
- Arenisca y Limolita	18.00 MPa
- Arenisca Limosa	25.12 MPa
- Arenisca Cuarzosa	136.24 MPa

Los valores asumidos para la clasificación geomecánica y determinación de parámetros son los siguientes:

- Limolita	37 MPa
- Limolita Carbonosa	28 MPa
- Limolita Lutacea	25 MPa
- Arenisca Cuarzosa	115 MPa

#### **b. Condiciones de las discontinuidades**

Las condiciones de las juntas (discontinuidades) son registradas y medidas en el levantamiento geomecánico y registros de perforación. Para el caso del levantamiento de estaciones geomecánicas, las discontinuidades tienen similares características, presentando superficies ligeramente rugosas a planas, con espaciamiento de las juntas de 0.05 a 0.5 m, persistencias entre 1.0 a 3.0 m, con aberturas que varían de 0.2 a 5.0 cm y rellenos blandos de limos, arcillas, óxidos, fragmentos de roca y materia orgánica de espesores menores a 1.0 cm. Los registros de las perforaciones muestran discontinuidades rugosas a lisas, cerradas a semiabiertas con rellenos de limos, óxidos, fragmentos de roca y sulfuros metálicos.



El Cuadro 4.12 muestra las condiciones de discontinuidades de acuerdo a las investigaciones realizadas.

**Cuadro 4.12.** Condiciones de las discontinuidades – Estaciones geomecánicas.

Estaciones geomecánicas	Litología	Condiciones de las superficies de las discontinuidades
EG-1A	Limolita carbonosa	Superficies planas, ligeramente rugosa, espaciadas de 0.1 a 0.3 m, persistentes > 3 m, aberturas de 3 a 5 cm, con rellenos de limos y materia orgánica
EG-2A	Limolita carbonosa	Superficies planas, ligeramente rugosa, espaciados de 0.1 a 0.2 m, persistentes > 3 m, aberturas de 1 a 2 cm, con rellenos de limos y pequeños fragmentos de roca
EG-3A	Limolita carbonosa	Superficies ligeramente rugosas, espaciadas de 0.1 a 0.3 m, persistentes > 3 m, aberturas de 2 a 4 cm, con rellenos de limos, arcilla y fragmentos de roca
EG-4A	Limolita	Superficies rugosas, espaciadas de 0.1 a 0.3 m, persistentes > 3 m, aberturas de 1 a 3 cm, con rellenos de limos y materia orgánica
EG-5A	Limolita lutacea	Superficies foliadas, ligeramente rugosas, espaciadas de 0.2 a 0.3 m, persistentes > 3 m, aberturas cerradas a 1 mm, con rellenos de limos y óxidos blandos menores a < 1 mm
EG-6A	Limolita lutacea	Superficies foliadas, ligeramente rugosas, espaciadas de 0.1 a 0.5 m, persistentes de 1 a 3 m, aberturas cerradas a 2 mm, con rellenos de limos arcillosos y óxidos blando menores a < 2 mm
EG-7A	Limolita	Superficies planas, ligeramente rugosas, espaciadas de 0.05 a 0.3 m, persistentes 2 a 3 m, aberturas de 0.5 a 1 cm, con rellenos de limos y óxidos < 5 mm
EG-8A	Limolita	Superficies planas, ligeramente rugosas, espaciadas de 0.05 a 0.3 m, persistentes de 2 a 3 m, aberturas de 2 a 5 mm, con rellenos de arena limosa y óxidos < 5 mm
EG-9A	Arenisca cuarzosa	Superficies rugosas, espaciadas de 0.3 a 0.5 m, persistentes > 3 m, aberturas de 0.5 a 1 cm, con rellenos de limos y materia orgánica blanda < 1 cm
EG-10A	Limolita	Superficies planas, ligeramente rugosas, espaciadas de 0.1 a 0.3 m, persistentes de 2 a 3 m, aberturas de 1 a 2 cm, con rellenos de limos y arena blanda < 1 cm

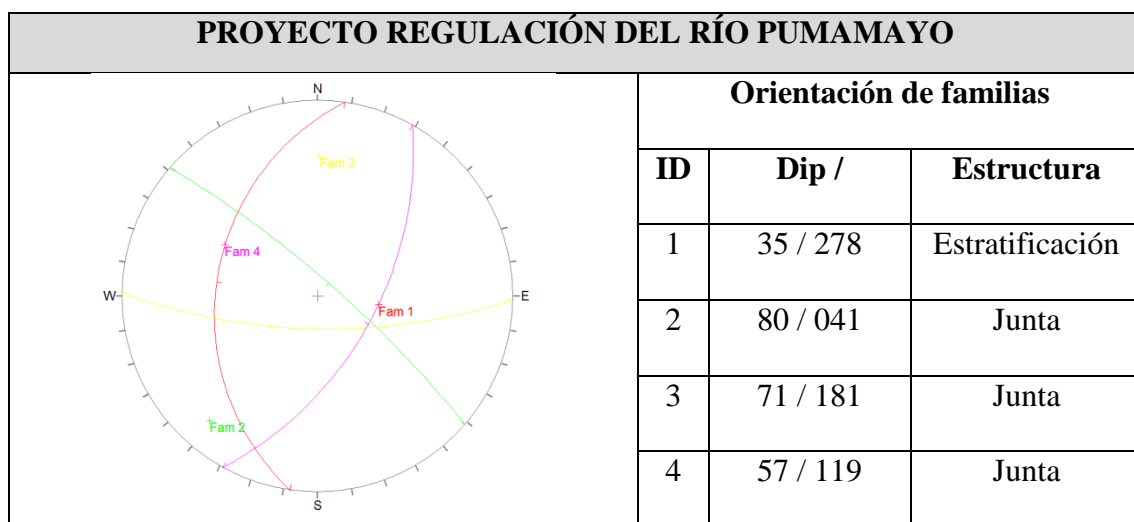
Fuente: Informe Geotécnico – CESEL S.A.

Según el cuadro se resume las condiciones de discontinuidades de la siguiente manera; superficies de sus paredes predominantemente irregulares rugosas a onduladas rugosas, de espaciamiento menor a 20 cm, persistentes con longitudes mayor a 3.0 m, con relleno de óxidos y limos, sus aberturas varían de 1.0 a 5.0 mm y están ligera a moderadamente meteorizadas.

**c. Orientación de las discontinuidades**

La información tomada en cuando a la dirección de buzamiento y ángulo de buzamiento, fue analizada mediante el programa Dips, para determinar la orientación predominante de las fracturas e interpretar la dirección de los esfuerzos.

La Fig. 4.2, presenta el modelo de planos principales (familias) donde se observa la formación de 4 familias principales, correspondientes a las estructuras geológicas del área de estudio.



**Figura 4.2.** Proyección estereográfica de las discontinuidades.

Fuente: Elaboración propia.

En el Cuadro 4.13 se muestran las principales familias determinadas en datos de dirección y ángulo de buzamiento.

**Cuadro 4.13.** Orientación de las discontinuidades.

Familias	1	2	3	4
Dip / Direction	35 / 278	80 / 041	71 / 181	57 / 119
Rumbo / buzamiento	N 8°E / 35° NO	N 131°E / 80°NE	N 91°E / 71°NE	N 29°E / 57°NE

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.5. CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA DEL MACIZO ROCOSO

##### 4.5.1. Clasificación de Deere et. al (RQD)

Para las investigaciones superficiales, el grado de fracturamiento del macizo rocoso fue estimado mediante el *RQD* (Rock Quality Designation) y  $J_v$  (Volumetric Joint Count).

Los valores del índice RQD del macizo rocoso indican que se encuentra intensamente fracturado a moderadamente fracturado (Ver Cuadro 4.14), lo que califica a la roca como mala y muy mala, siendo en algunos sectores de calidad media o regular.

**Cuadro 4.14.** Valores de RQD – Estaciones geomecánicas.

Litología	Estación geomecánica	RQD	Grado de fracturamiento	Calidad de la roca
Limolita carbonosa	EG-1A	49	Intensamente fracturada	Mala
Limolita carbonosa	EG-2A	46	Intensamente fracturada	Mala
Limolita carbonosa	EG-3A	49	Intensamente fracturada	Mala
Limolita	EG-4A	52	Moderadamente fracturada	Media
Limolita lutacea	EG-5A	32	Muy Intensamente fracturada, foliada	Muy mala
Limolita lutacea	EG-6A	27	Muy Intensamente fracturada, foliada	Muy mala
Limolita	EG-7A	46	Moderadamente fracturada	Media
Limolita	EG-8A	56	Moderadamente fracturada	Media
Arenisca cuarzosa	EG-9A	74	Moderadamente fracturada	Media
Limolita	EG-10A	56	Moderadamente fracturada	Media

Fuente: Informe Geotécnico – CESEL S.A.

Los valores de RQD calculados en el estudio de factibilidad se encuentran entre 27 a 68% (Ver Cuadro 4.15), los mismos que califican al macizo rocoso como intensamente fracturado, de mala calidad.

**Cuadro 4.15.** Valores de RQD en los sondeos realizados.

Tipo litológico	Sondeos	Prof. (m)	RQD	Jv	Estructura del macizo rocoso y fracturamiento
Limolita	SD-4	0.00 – 53.80	27	33.2	Muy intensamente fracturada y foliada
Arenisca	SD-1	1.83 – 3.73 14.35 – 20.00	32	31.2	Intensamente fracturada
	SD-2	0.00 – 4.40	10	40.0	Muy intensamente fracturada
	SD-3	0.00 – 13.90	48	24.8	Intensamente fracturada
	SD-4	61.00 – 73.40	50	24.0	Intensamente fracturada y foliada
Arenisca cuarzosa	SD-1	3.73 – 14.35	38	28.8	Intensamente fracturada
	SD-2	4.40 – 15.00	22	35.2	Muy intensamente fracturada
	SD-3	13.90 – 33.35	34	30.4	Intensamente fracturada
	SD-4	73.40 – 80.00	40	28.0	Intensamente fracturada
Arenisca con limolita	SD-4	53.80 – 61.00	68	16.8	Intensamente fracturada

Fuente: Estudio de Factibilidad – SVS Ingenieros S.A.

#### 4.5.2. Clasificación de Bieniawski (RMR)

El resultado de la clasificación geomecánica de Bieniawski (RMR) para las investigaciones realizadas se detalla en el Cuadro 4.16:

**Cuadro 4.16.** Clasificación geomecánica de Bieniawski (RMR).

Estación geomecánica	Litología	RMR básico	RMR ajustado	RMR condiciones secas	Clase del macizo	Calidad del macizo
EG-1A	Limolita carbonosa	34	19	39	Tipo V	Muy mala
EG-2A	Limolita carbonosa	35	20	40	Tipo V	Muy mala
EG-3A	Limolita carbonosa	33	0	41	Tipo V	Muy mala
EG-4A	Limolita	38	23	43	Tipo IV	Mala
EG-5A	Limolita carbonosa	37	22	42	Tipo IV	Mala
EG-6A	Limolita carbonosa	29	14	37	Tipo V	Muy mala
EG-7A	Limolita	38	28	43	Tipo IV	Mala
EG-8A	Limolita	40	30	45	Tipo IV	Mala
EG-9A	Arenisca cuarzosa	55	50	60	Tipo III	Regular
EG-10A	Limolita	33	23	41	Tipo IV	Mala

Fuente: Elaboración propia.

**4.5.3. Clasificación de Hoek & Brown (GSI Modificado)**

El Cuadro 4.17 muestra los resultados obtenidos, según la clasificación por el índice GSI Modificado:

**Cuadro 4.17.** Valores del Índice de resistencia geológica (GSI).

Estación geomecánica	Litología	GSI	Valor (GSI)	Calidad del macizo rocoso
EG-1 <sup>a</sup>	Limolita carbonosa	MF/M	34	Muy fracturado / Mala
EG-2 <sup>a</sup>	Limolita carbonosa	MF/M	35	Muy fracturado / Mala
EG-3 <sup>a</sup>	Limolita carbonosa	MF/M	36	Muy fracturado / Mala
EG-4A	Limolita	F/R	38	Fracturado / Regular
EG-5A	Limolita carbonosa	MF/M	37	Muy fracturado / Mala
EG-6A	Limolita carbonosa	IF/M	32	Intensamente fracturado / Mala
EG-7A	Limolita	F/M	38	Fracturado / Mala
EG-8A	Limolita	F/R	40	Fracturado / Regular
EG-9A	Arenisca cuarzosa	F/B	55	Fracturado / Buena
EG-10A	Limolita	MF/M	36	Muy Fracturado / Mala

Fuente: Informe Geotécnico – CESEL S.A.

#### 4.5.4. Clasificación de Barton et al (Q)

Los resultados de la clasificación geomecánica se muestra en el Cuadro 4.18.

**Cuadro 4.18.** Valores del sistema de clasificación Q.

Estación geomecánica	Valor %		Valor Jn	Valor Jr	Valor Ja	Valor Jw	Valor SRF	Q Barton
EG-1A	49		9.0	1.5	2.0	0.50	2.5	0.82
EG-2A	46		12.0	1.5	3.0	0.33	2.5	0.25
EG-3A	49		9.0	3.0	3.0	0.33	5.0	0.36
EG-4A	52		9.0	3.0	2.0	0.33	1.0	2.86
EG-5A	32		12.0	1.5	3.0	0.33	2.5	0.18
EG-6A	27		15.0	1.5	3.0	0.33	2.5	0.12
EG-7A	46		9.0	1.5	2.0	0.50	1.0	1.92
EG-8A	56		9.0	1.5	2.0	0.50	1.0	2.33
EG-9A	74		9.0	3.0	1.0	0.66	2.0	8.14
EG-10A	56		12.0	1.5	2.0	0.50	1.0	1.75

Fuente: Informe Geotécnico – CESEL S.A.

La calidad del macizo rocoso en cuanto al índice Q, se presenta en el Cuadro 4.19:

**Cuadro 4.19.** Índice de Barton (Q).

Estación geomecánica	Litología	Índice Q	Calidad del macizo
EG-1A	Limolita carbonosa	0.82	Muy mala
EG-2A	Limolita carbonosa	0.25	Muy mala
EG-3A	Limolita carbonosa	0.36	Muy mala
EG-4A	Limolita	2.86	Mala
EG-5A	Limolita carbonosa	0.18	Muy mala
EG-6A	Limolita carbonosa	0.12	Muy mala
EG-7A	Limolita	1.92	Mala
EG-8A	Limolita	2.33	Mala
EG-9A	Arenisca cuarzosa	8.14	Media
EG-10A	Limolita	1.75	Mala

Fuente: Informe Geotécnico – CESEL S.A.

**4.5.5. Resumen de la clasificación geomecánica**

El Cuadro 4.20 muestra el resumen de las clasificaciones del macizo rocoso realizadas para cada zona de investigación.

**Cuadro 4.20.** Resumen de la clasificación geomecánica – Estaciones geotécnicas.

Estación geomecánica	GSI	Calidad del macizo	RMR ajustado	Calidad del macizo	Índice Q	Calidad del macizo
EG-1A	MF/M	Muy Fracturado / Mala	19	Muy Mala	0.82	Muy mala
EG-2A	MF/M	Muy Fracturado / Mala	20	Muy Mala	0.25	Muy mala
EG-3A	MF/M	Muy Fracturado / Mala	0	Muy Mala	0.36	Muy mala
EG-4A	F/R	Fracturado / Regular	23	Mala	2.86	Mala
EG-5A	MF/M	Muy Fracturado / Mala	22	Mala	0.18	Muy mala
EG-6A	IF/M	Intensamente Fracturado /	14	Muy Mala	0.12	Muy mala
EG-7A	F/M	Fracturado / Mala	28	Mala	1.92	Mala
EG-8A	F/R	Fracturado / Regular	30	Mala	2.33	Mala
EG-9A	F/B	Fracturado / Buena	50	Regular	8.14	Media
EG-10A	MF/M	Muy Fracturado / Mala	23	Mala	1.75	Mala

Fuente: Informe Geotécnico – CESEL S.A.

Con las consideraciones de la caracterización y los métodos de clasificación del macizo rocoso, se ha determinado la calidad del macizo por tipo de litología; los datos encontrados se presentan en el Cuadro 4.21:

**Cuadro 4.21.** Calidad del macizo rocoso según tipo litológico.

Litología	Clase del Macizo	Calidad del Macizo	Fuente
Limolita	Tipo III	Media o regular	Perforaciones diamantinas
	Tipo IV	Mala	Estaciones geomecánicas
Limolita carbonosa	Tipo IV	Mala	Perforaciones diamantinas
	Tipo V	Muy mala	Estaciones geomecánicas
Limolita lutacea	Tipo IV	Mala	Estaciones geomecánicas
	Tipo V	Muy mala	Estaciones geomecánicas
Areniscas cuarzosas	Tipo II	Buena	Perforaciones diamantinas
	Tipo III	Media o regular	Estaciones geomecánicas

Fuente: Informe Geotécnico – CESEL S.A.

#### 4.6. RESISTENCIA, MÓDULO DE DEFORMACIÓN Y CAPACIDAD ADMISIBLE DEL MACIZO ROCOSO

El cuadro siguiente muestra las propiedades y datos estimados para la determinación de los parámetros de resistencia, deformación y capacidad admisible de la roca (Ver Cuadro 4.22).

**Cuadro 4.22.** Propiedades del macizo rocoso.

Tipo litológico	Calidad del macizo rocoso	Valor RMR <sub>89</sub>	GSI	$\sigma_{ci}$ (MPa)	$\gamma$ (MN/m <sup>3</sup> )	Espaciamiento (m)
Limolita	Tipo III	50	45	37	0.0240	0.20
	Tipo IV	41	36	37	0.0240	0.10
Limolita carbonosa	Tipo IV	45	40	28	0.0235	0.10
	Tipo V	39	34	28	0.0235	0.05
Limolita lutacea	Tipo IV	42	37	25	0.0228	0.10
	Tipo V	37	32	25	0.0228	0.05
Areniscas cuarzosas	Tipo II	55	50	115	0.0255	0.50
	Tipo III	43	38	115	0.0255	0.30

Fuente: Informe Geotécnico – CESEL S.A.

La constante  $m_i$  se ha determinado a través de ensayos de compresión triaxial (Ver Cuadro N° 4.23). En esta oportunidad se considera los valores referenciales del tipo de litología que fueron publicados en la literatura [Hoek y Brown (1997); Hoek, Marinos y Benissi (1998) y Hoek y Marinos (2000)].

**Cuadro 4.23.** Valores referenciales de  $m_i$ .

Litología	Constante $m_i$ Hoek (1998)
Limolita	9
Arenisca	19

Fuente: Informe Geotécnico – CESEL S.A.



Para la determinación de los parámetros de la roca se ha considerado el valor de la constante  $m_i = 9$ , para la roca limolita, limolita carbonosa y limolita lutacea y  $m_i = 19$  para las areniscas cuarzosas.

Los parámetros de resistencia se han obtenido mediante las metodologías descritas en la mecánica de rocas siguiendo los criterios de rotura de Mohr-Coulomb y Hoek-Brown.

#### 4.6.1. Criterio de deformación del macizo rocoso

Basándose en la clasificación geomecánica, varios autores han propuesto criterios empíricos para estimar el módulo de deformación del macizo rocoso, tales como, Bieniawski (1978), Serafim y Pereira (1983), Kulhawy y Goodman (1980), Hoek (1995), Grimstad y Barton (1993), Gokceoglu et al. (2003), etc. Recientemente, en base a una revisión de varios criterios, resultados de ensayos *in situ* en China y Taiwán, Hoek y Diederichs (2006) han propuesto una relación para determinar el módulo de deformación del macizo rocoso ( $E_m$ ) en función del *GSI*, módulo de elasticidad de la roca intacta ( $E_i$ ) y el grado de perturbación del macizo ( $D$ ) por causa de la detonación de las voladuras y alivio de tensiones. La relación se expresa de la siguiente manera:

$$E_m = E_i \left( 0.02 + \frac{1 - D/2}{1 + e^{((60+15D-GSI)/11)}} \right)$$

#### 4.6.2. Capacidad admisible en rocas

Para determinar la capacidad portante admisible de la cimentación sobre el macizo rocoso se ha tomado en cuenta los parámetros de la roca intacta y del macizo rocoso descrito en el acápite anterior. Con estos valores y usando las siguientes metodologías se estimó el valor de la capacidad de soporte del macizo rocoso, para la ubicación de la presa y Túnel proyectado.

**a. Criterio de Hoek et al. (2002)**

Según Hoek *et al.* (2002), el inicio de la rotura en el contorno de la excavación se produce cuando los esfuerzos inducidos por la excavación sobrepasan la resistencia del macizo.

Esta resistencia es dada por la siguiente expresión:

$$\sigma_{cm}' = \sigma_{ci} \cdot s^a$$

No en tanto, cuando es necesario evaluar la rotura global del macizo rocoso, antes que el inicio de la ruptura del mismo, como es el caso de los pilares, entonces la resistencia está dada por:

$$\sigma_{cm}' = \sigma_{ci} \cdot \frac{[m_b + 4s - a(m_b - 8s)](m_b/4 + s)^{a-1}}{2(1+a)(2+a)}$$

Donde:  $\sigma_{cm}'$  Resistencia a la compresión del macizo rocoso.

**b. Criterio de AASHTO (1996)**

La carga admisible del macizo rocoso es estimada en función a la resistencia a la compresión simple de la roca intacta. Para estimar la carga admisible del macizo rocoso se ha empleado el criterio de Hoek et al. (2002). El Cuadro 4.24 resume los parámetros de resistencia, deformación y capacidad admisible del macizo rocoso para la cimentación de la Presa de enrocado tipo CFRD y el Cuadro 4.25 resume los datos en el túnel de desvío.

**Cuadro 4.24.** Parámetros del macizo rocoso para la presa de enrocado.

Litología	Clase de Roca	$E_m$ (MPa)	Parámetros Hoek & Brown			Resistencia Cortante		$q_{adm}$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\tau$ (kg/cm <sup>2</sup> )
			$m_b$	$s$	$a$	$C_m$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\phi_m$ (°)		
Limolita	Tipo III	2 753	1.262	0.002	0.508	1.9	64.5	<b>9.0</b>	12.3
	Tipo IV	1 528	0.915	0.001	0.515	1.0	63.6	<b>4.6</b>	12.3
Limolita carbonosa	Tipo IV	1 565	1.056	0.001	0.511	1.0	63.1	<b>4.7</b>	9.3
	Tipo V	1 039	0.852	0.001	0.517	0.7	61.2	<b>3.0</b>	9.3
Limolita lutacea	Tipo IV	1 137	0.949	0.001	0.514	0.8	62.7	<b>3.3</b>	8.3
	Tipo V	811	0.793	0.001	0.520	0.6	60.5	<b>2.3</b>	8.3
Areniscas cuarzosas	Tipo II	3 818	3.186	0.004	0.506	5.7	72.0	<b>23.1</b>	38.3
	Tipo III	1 742	2.075	0.001	0.513	2.5	73.2	<b>19.7</b>	38.3

Fuente: Informe Geotécnico – CESEL S.A.

**Cuadro 4.25.** Parámetros del macizo rocoso para el túnel de desvío.

Litología	Clase de Roca	$E_m$ (MPa)	Parámetros Hoek & Brown			Resistencia Cortante	
			$m_b$	$s$	$a$	$C_m$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\phi_m$ (°)
Limolita	Tipo III	1 013	0.438	0.000	0.508	1.6	45.3
	Tipo IV	543	0.199	0.000	0.515	1.0	38.5
Limolita carbonosa	Tipo IV	500	0.253	0.000	0.511	1.0	38.8
	Tipo V	311	0.081	0.000	0.517	0.6	28.8
Limolita lutacea	Tipo IV	384	0.212	0.000	0.514	0.8	36.5
	Tipo V	261	0.070	0.000	0.520	0.5	26.8
Areniscas cuarzosas	Tipo II	2 467	1.757	0.001	0.506	4.7	62.3
	Tipo III	1 200	0.630	0.000	0.513	2.4	55.8

Fuente: Informe Geotécnico – CESEL S.A.

Dónde:  $E_m$ , módulo de elasticidad del macizo rocoso;  $m_{b,s}$  y  $a$ , constantes del macizo rocoso;  $c_m$ , cohesión del macizo rocoso;  $\phi_m$ , ángulo de fricción del macizo rocoso;  $q_{adm}$ , capacidad admisible del macizo rocoso;  $\tau$ , adherencia con el concreto.

## CAPÍTULO V

### RESULTADOS Y DISCUSIONES

El presente trabajo de investigación, detalla el análisis de estabilidad de taludes para:

- Portal de entrada Túnel de derivación Río Pumamayo.
- Portal de salida - Túnel de derivación Río Pumamayo
- Aliviadero de Presa Pumamayo.

#### **5.1. PARÁMETROS DE RESISTENCIA Y PROPIEDADES FÍSICAS DEL MACIZO ROCOSO**

Se ha determinado los parámetros del macizo rocoso para la zona de estudio, considerando la clasificación geomecánica del macizo (RMR), propiedades físicas de la roca intacta ( $\sigma_{ci}, \gamma$ ), condición de las juntas (espaciamiento) y tipo de estructura (talud), el Cuadro 5.1 muestra los datos propuestos para la zona.

**Cuadro 5.1.** Parámetros y propiedades del macizo rocoso.

Ubicación	Clase de Macizo	Calidad de Macizo	Valor RMR <sub>89</sub>	$\sigma_{ci}$	Espaciamiento (m)
Portal de Entrada	Tipo IV	Mala	21	37	0.1
Portal de Salida	Tipo IV	Mala	21	37	0.1

Fuente: Elaboración propia.

Los parámetros de resistencia para evaluar la estabilidad de los taludes son obtenidos mediante las metodologías descritas en mecánica de rocas siguiendo los criterios de rotura de Mohr-Coulomb, Hoek – Brown y Barton – Bandis. El análisis de estabilidad es evaluado con la condición más crítica considerando para todos los casos una roca tipo IV.

Como en el caso de estudio se presenta fallas de tipo cuña, se empleó el programa de cómputo Swedge, y dado que este programa considera sólo el criterio de Mohr-Coulomb, fue necesario determinar, mediante retroanálisis, la cohesión de las discontinuidades con la premisa del conocimiento del ángulo de fricción interno básico igual a 33° (valor conservador, tomado de los valores recomendados para rocas ígneas, publicados por el Instituto Geológico Minero de España, 1990).

El Cuadro 5.2 muestra el resumen de los resultados obtenidos, para el tipo de roca presente y el Cuadro 5.3 presenta los parámetros de resistencia en las discontinuidades.

**Cuadro 5.2.** Parámetros de resistencia Macizo Rocos.

Clase de Macizo	$E_m$ (MPa)	Parámetros Hoek & Brown			Morh - Coulomb		$q_{adm}$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\tau$ (kg/cm <sup>2</sup> )
		$m_b$	$s$	$a$	$C_m$ (kPa)	$\phi_m$ (°)		
Tipo IV	261	0.070	0.000	0.520	0.5	26.8	2.3	8.2

Fuente: Elaboración propia.

**Cuadro 5.3.** Parámetros de resistencia en discontinuidades.

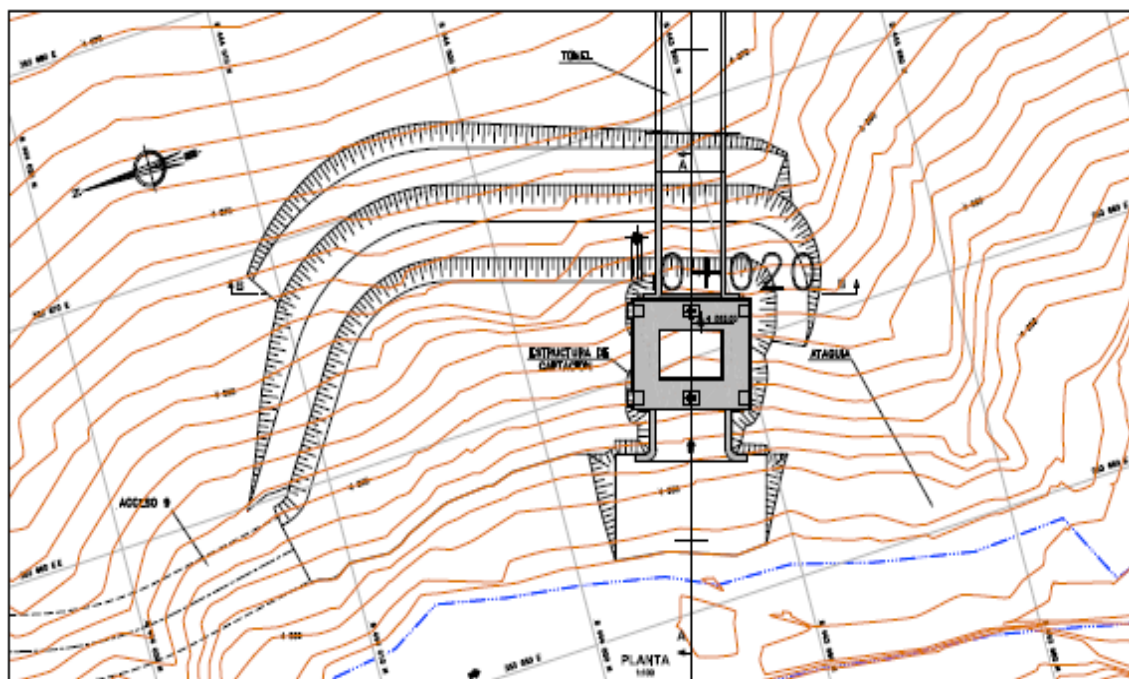
Sector	Parámetros de resistencia en la discontinuidad	
	$c$ (TM/m <sup>2</sup> )	$\phi$ (°)
Túnel Pumamayo	0.6	33

Fuente: Elaboración propia.

## 5.2. ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES

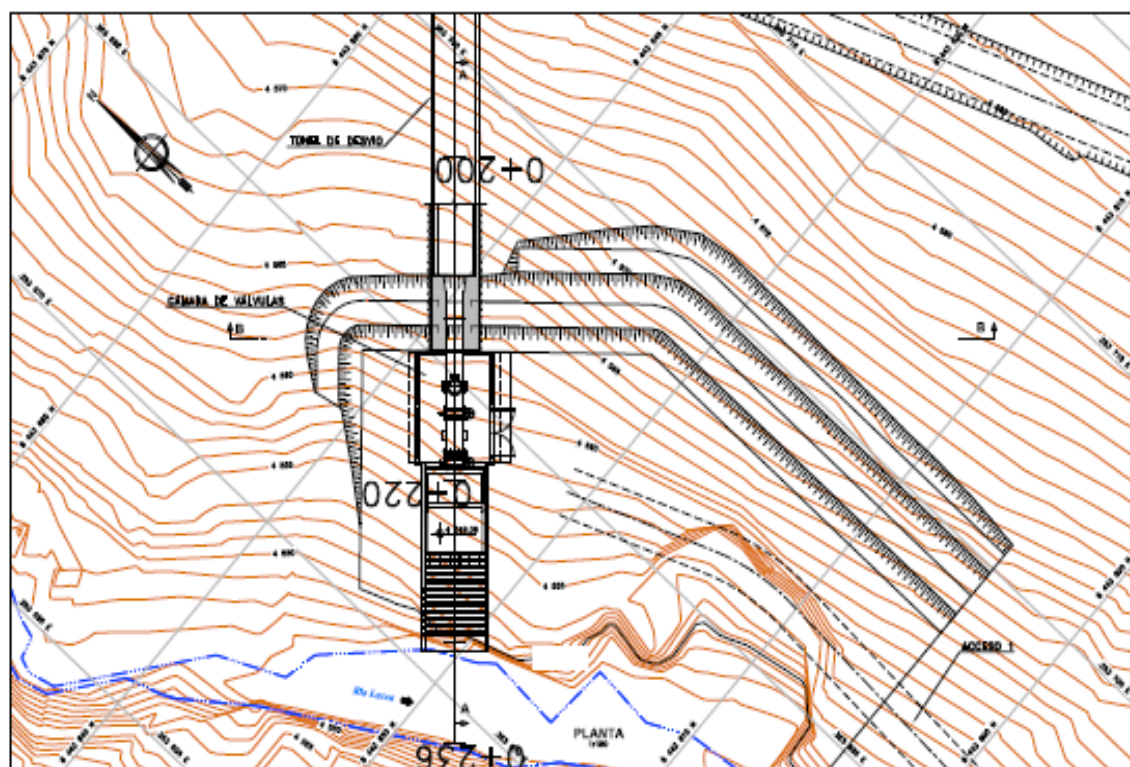
El análisis de estabilidad se ha realizado para las siguientes zonas (Ver Fig. 5.1 y 5.2):

- a. Taludes de corte en el portal de entrada:
  - Talud frontal.
  - Talud lateral derecho.
  - Talud lateral izquierdo.
- b. Taludes de corte en el portal de Salida:
  - Talud frontal.
  - Talud lateral derecho.
  - Talud lateral izquierdo.
- c. Taludes de corte en Aliviadero:
  - Sección 2-2 Talud derecho.
  - Sección 2-2 Talud izquierdo.
  - Sección 3-3 Talud derecho.
  - Sección 3-3 Talud izquierdo.
  - Sección 4-4 Talud derecho.
  - Sección 4-4 Talud izquierdo.
  - Sección 6-6 Talud derecho.
  - Sección 6-6 Talud izquierdo.



**Figura 5.1.** Esquema Simplificado de los Taludes de Corte: Portal de Entrada.

Fuente: Informe Geotécnico – CESEL S.A.



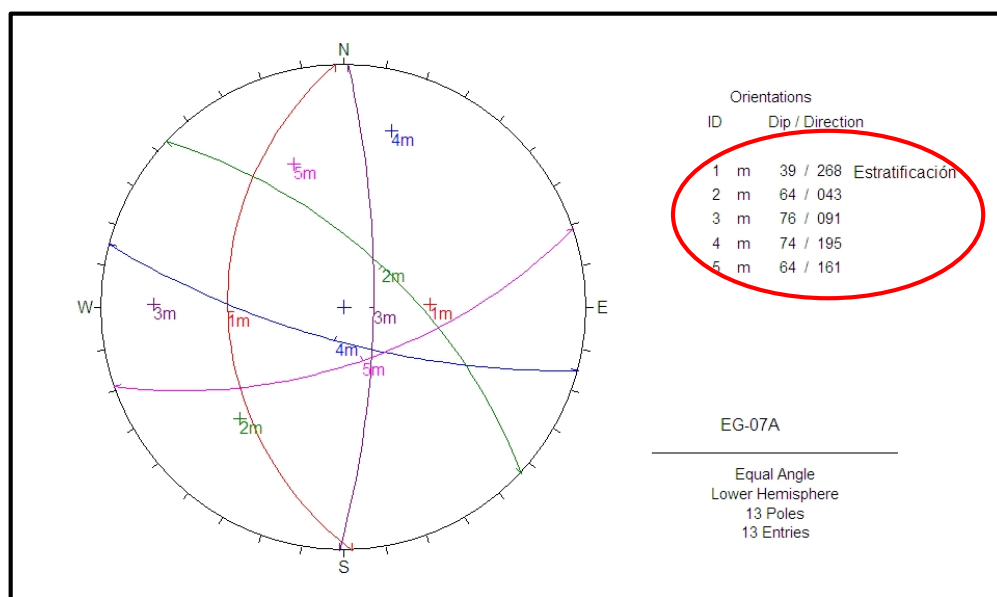
**Figura 5.2.** Esquema Simplificado de los Taludes de Corte: Portal de Salida.

Fuente: Informe Geotécnico – CESEL S.A.



### 5.2.1. Análisis de discontinuidades

Este análisis se realizará evaluando el sistema de discontinuidades donde se determina en primer lugar las familias principales del área donde se harán los cortes, tomando datos de dirección y buzamientos de las discontinuidades mediante la metodología de Línea de Detalle, en esta zona se ha evaluado mediante 10 estaciones geomecánicas, con el apoyo del programa Dips del grupo Rocscience, se obtuvieron en primer lugar las familias principales tal como se muestra en la Fig. 5.3.



**Figura 5.3.** Ejemplo de principales familias en la Estación Geomecánica 07 A.

Fuente: Elaboración propia.

Nótese en la figura anterior mostrada que se tiene la formación de 5 familias principales correspondiente a estructuras geológicas, como son, fracturas y estratos de la roca sedimentaria presente en la zona.

### 5.2.2. Análisis de fallas

De todos los análisis cinemáticos efectuados, se determina las probables fallas en forma planar, cuña y volteo, mediante el análisis de fallas, para ello se hace uso de las familias

principales ya determinadas, parámetros de resistencia de la discontinuidad y buzamiento del talud de corte a analizar, de la misma manera se ha hecho uso del programa Dips v5.0 y los Cuadros 5.4 y 5.5 muestran los resultados obtenidos:

**Cuadro 5.4.** Portales de Entrada y Salida de Túnel – Análisis Cinemático – Determinación tipo de falla.

Estructura	Estación Geomecánica	Sector	Buzamiento/ Dirección del Talud	Familias principales	Familias que producen fallas		
					Falla Planar	Falla por Cuña	Falla por Volteo
Portal de Entrada a Túnel	EG-10 <sup>a</sup>	Corte Frontal	63° / 286°	Fam 1: 45° / 286°	Fam 1	Ninguna	Ninguna
		Corte Lateral	63° / 016°	Fam 2: 63° / 029° Fam 3: 70° / 090°	Ninguna	Fam 1 y 2	Ninguna
		Corte Lateral	63° / 196°	Fam 4 : 79° / 216°	Ninguna	Ninguna	Ninguna
Portal de Salida de Túnel	EG-07A	Corte Frontal	76° / 228°	Fam 1: 39° / 268° Fam 2: 64° / 043°	Fam 1	Fam 1 y 4 Fam 1 y 5	Fam 2
		Corte Lateral	76° / 138°	Fam 3: 76° / 091° Fam 4: 74° / 195°	Fam 5	Fam 2 y 5 Fam 3 y 5	Ninguna
		Corte Lateral	76° / 318°	Fam 5: 64° / 161°	Fam 1	Fam 1 y 4	Ninguna

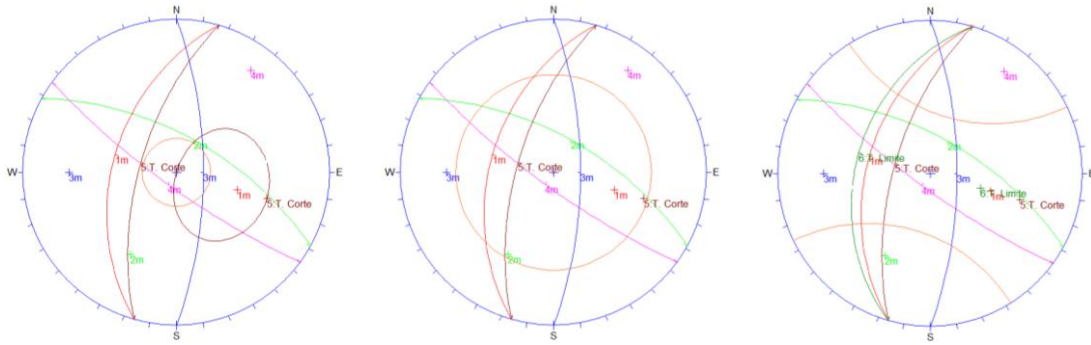
Fuente: Elaboración propia.

**Cuadro 5.5.** Aliviadero – Análisis Cinemático – Determinación tipo de falla.

Estructura	Estación Geomecanica	Sector	Buzamiento/Dirección del Talud	Familias principales	Familias que producen fallas		
					Falla Planar	Falla por Cuña	Falla por Volteo
Aliviadero Sección 2-2	EG-05 <sup>a</sup>	Talud Derecho	63° / 092°	Fam 1: 85° / 047° Fam 2: 64° / 272°	Ninguna	Ninguna	Ninguna
		Talud Izquierdo	63° / 272°	Fam 3: 38° / 276°	Fam 3	Fam 1 y 3	Ninguna
Aliviadero Sección 3-3	EG-06 <sup>a</sup>	Talud Derecho	63° / 092°	Fam 1: 34° / 276° Fam 2: 84° / 005°	Ninguna	Ninguna	Ninguna
		Talud Izquierdo	63° / 272°	Fam 3: 85° / 046° Fam 4: 79° / 180°	Fam 1	Fam 1 y 2 Fam 1 y 4	Ninguna
Aliviadero Sección 4-4	EG-06	Talud Derecho	63° / 025°	Fam 1: 44° / 081° Fam 2: 57° / 053°	Fam 1 Fam 2	Fam 3 y 4	Ninguna
		Talud Izquierdo	63° / 205°	Fam 3: 82° / 170° Fam 4: 65° / 160°	Ninguna	Ninguna	Ninguna
Aliviadero Sección 6-6	EG-07A	Talud Derecho	63° / 025°	Fam 1: 39° / 268° Fam 2: 64° / 043°	Ninguna	Ninguna	Fam 4
		Talud Izquierdo	63° / 205°	Fam 3: 76° / 091° Fam 4: 74° / 195° Fam 5: 64° / 161°	Fam 1	Fam 1 y 5	Ninguna

Fuente: Elaboración propia.

Se concluye del análisis de fallas locales, la formación de 2 tipos de fallas en los diferentes cortes del portal de entrada del túnel (63°), teniendo una falla de tipo planar y una falla por cuña; en los taludes de corte del portal de salida se observan la formación de los 3 tipos de fallas, presentándose principalmente fallas de tipo cuñas, esto es debido al buzamiento del talud de corte propuesto (76°) (Ver Fig. 5.4).

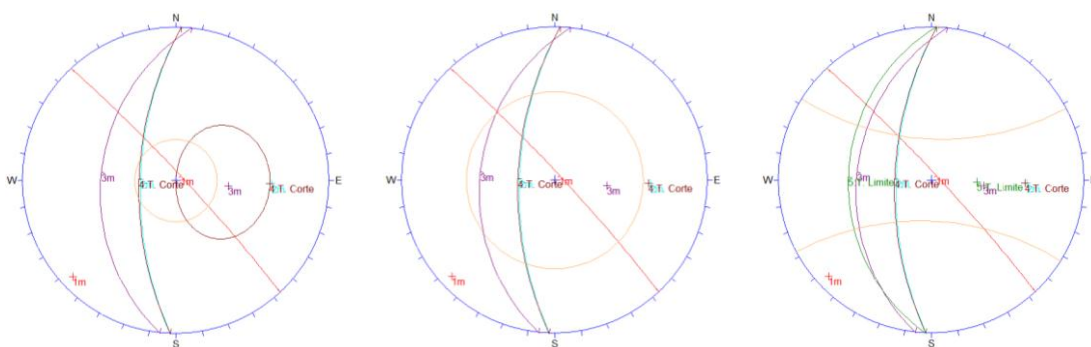


<i>Falla Tipo Planar</i> <i>Fam 1</i>	<i>Falla Tipo Cuña</i> <i>Ninguna</i>	<i>Falla Tipo Vuelco</i> <i>Ninguna</i>
--	--	--

**Figura 5.4.** Ejemplo del análisis de falla en el Portal de Entrada del túnel (63°) – Talud Frontal (EG-10A).

Fuente: Elaboración propia.

En el segundo caso para el aliviadero, con el ángulo de buzamiento propuesto (63°) se observan la formación de algunas fallas de tipo planar, cuña y volteo. Así mismo, en el Anexo A, se presenta el resumen de los análisis de fallas, para los diferentes tipos de taludes. Para determinar las condiciones de estabilidad de las fallas obtenidas se ha realizado un análisis de equilibrio limite, haciendo uso de la valoración de SMR (Slope Mass Rating) y los programas de cómputo RocPlane v2.0 y Swedge v4.0 (Ver Fig. 5.5).



<i>Falla Tipo Planar</i> <i>Fam 3</i>	<i>Falla Tipo Cuña</i> <i>Fam 1 y 3</i>	<i>Falla Tipo Vuelco</i> <i>Ninguna</i>
--	--	--

**Figura 5.5.** Ejemplo del análisis de falla en el Aliviadero – Talud izquierdo (63°) (EG-05A).

Fuente: Elaboración propia.

**5.2.3. Valoración SMR para fallas planares y de volteo**

Para los taludes en roca se tiene los rangos para la valoración SMR, los cuales se presentan en el Cuadro 5.6:

**Cuadro 5.6.** Valoración del SMR.

Valoración SMR	0 – 20	21 – 40	41 – 60	61 – 80	81 – 100
Descripción SMR	Muy Mala	Mala	Regular	Buena	Muy Buena
Descripción del grado de estabilidad	Critico	Inestable	Normalmente Estable		Totalmente Estable

Fuente: Elaboración propia.

Los valores de estabilidad según el valor de SMR, para las fallas planares y de volteo resumen en el Cuadro 5.7 y 5.8:

**Cuadro 5.7.** Valor del SMR - Portales de Entrada y Salida de Túnel.

Estructura	Sector	Falla	SMR	Descripción	Estabilidad	Tratamiento
Portal de Entrada a Túnel	Corte Frontal	Planar	-10	Muy mala	Muy inestable	Re-excavación
	Corte Lateral	Planar	37	Mala	Inestable	Sostenimiento
	Corte Lateral	Planar	33	Mala	Inestable	Sostenimiento
Portal de Salida de Túnel	Corte Frontal	Planar	33	Mala	Inestable	Sostenimiento
	Corte Lateral	Planar	33	Mala	Inestable	Sostenimiento
	Corte Lateral	Planar	33	Mala	Inestable	Sostenimiento

Fuente: Elaboración propia.

**Cuadro 5.8.** Valor del SMR – Secciones del aliviadero.

Estructura	Sector	Falla predominante	SMR	Descripción	Estabilidad	Tratamiento
Aliviadero	Sección 2-2	Planar	33	Mala	Inestable	Sostenimiento
	Sección 3-3	Planar	33	Mala	Inestable	Sostenimiento
	Sección 6-6	Planar	33	Mala	Inestable	Sostenimiento

Fuente: Elaboración propia.

Se concluye que las condiciones de estabilidad para la falla planar presenta un valor de SMR entre -10 a 33, es decir de mala a muy mala, con formación de bloques grandes y cuñas. En el Anexo C se muestra las hojas de cálculo del índice SMR (Slope Mass Rating).

#### **5.2.4. Análisis de falla tipo planar**

Esta evaluación se ha realizado teniendo en consideración un talud de 10 m y una banqueta de 2 m. las condiciones usadas en el análisis fueron las más desfavorables. La falla tipo planar es la más frecuente que se presenta en un talud, y se produce cuando existe una fractura dominante en la roca convenientemente orientada respecto al talud. La estabilidad de los taludes para las fallas planares determinadas, se realiza mediante el programa RocPlane v2.0 (Ver Fig. 5.6), este software evalúa la estabilidad de la falla en el talud de roca, mediante dos métodos; Determinístico (referido al Factor de Seguridad) y/o Probabilístico (referido a la Probabilidad de Falla). En nuestro caso se determina la estabilidad del talud temporal, por el método determinístico ya que se cuenta con los datos de las juntas. (Ver Cuadro 5.9 y 5.10).

Los análisis se realizaron considerando cortes de talud de 1:4 (H: V) y 1:2 (H: V), los cuadros siguientes muestra el resumen de los resultados obtenidos, en cuanto al FS según los datos suministrados. Para los cortes en los portales de entrada y salida se ha utilizado un coeficiente de aceleración sísmica 0.24 recomendado en el estudio de peligro sísmico y en los cortes del aliviadero se usó un coeficiente de aceleración sísmica 0.16.

**Cuadro 5.9.** Factores de seguridad – Datos para análisis de Falla Planar – Portales de Entrada y Salida de Túnel.

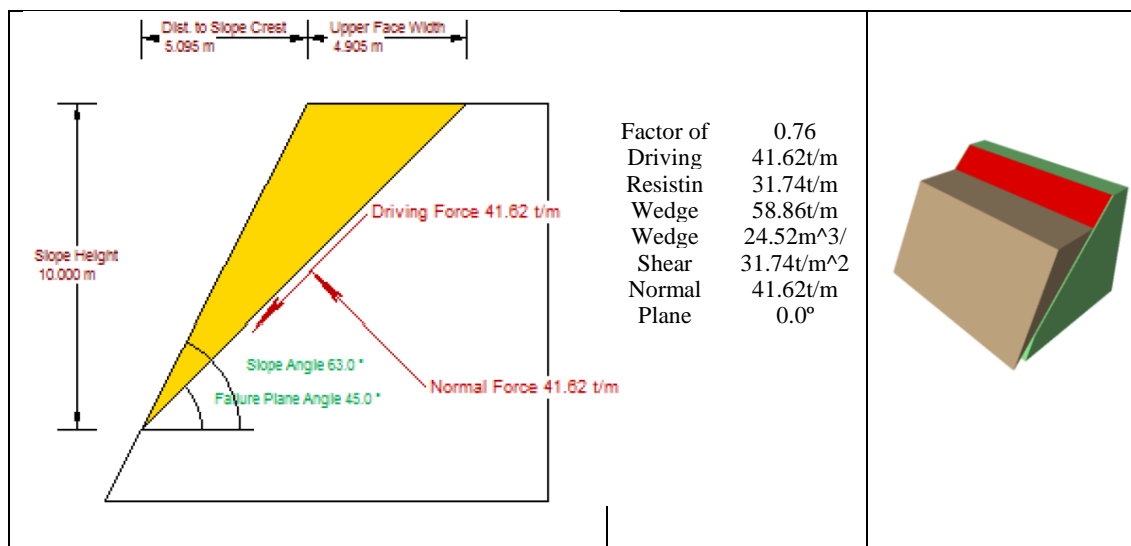
Estructura	Sector	Angulo de Talud	Familias que producen falla Planar	Barton-Bandis			Peso Unitario (TM/m <sup>3</sup> )	Geometría del talud		Coef. aceler. sísmica (g)	F.S. Pseudo - estático	F.S. Pseudo-estático con sostenimiento
				JRC	JCS (TM/m <sup>2</sup> )	Altura (m)		Altura (m)				
Portal de Entrada a Túnel	Corte Frontal	63° / 286°	45° / 286°	3	815.77	30	2.40	10	0.24	0.47	4.57	
Portal de Salida de Túnel	Corte Frontal	76° / 228°	39° / 268°	3	815.77	30	2.40	10	0.24	0.57	1.37	
	Corte Lateral Derecho	76° / 138°	64° / 161°	3	815.77	30	2.40	10	0.24	0.18	1.16	
	Corte Lateral Izquierdo	76° / 228°	39° / 268°	3	815.77	30	2.40	10	0.24	0.57	1.29	

Fuente: Elaboración propia.

**Cuadro 5.10.** Factores de seguridad – Datos para análisis de Falla Planar – Aliviadero.

Estructura	Sector	Angulo de Talud	Familias que producen falla Planar	Barton-Bandis			Peso Unitario (TM/m <sup>3</sup> )	Geometría del talud		Coef. aceler. sísmica (g)	F.S. Pseudo - estático	F.S. Pseudo-estático con sostenimiento
				JRC	JCS (TM/m <sup>2</sup> )	Φ(°)		Altura (m)				
Aliviadero Sección 2-2	Talud Izquierdo	63° / 272°	38° / 276°	3	815.77	30	2.26	10	0.16	0.70	1.26	
Aliviadero Sección 3-3	Talud Izquierdo	63° / 272°	34° / 276°	3	815.77	30	2.26	10	0.16	0.80	1.28	
Aliviadero Sección 4-4	Talud derecho	63° / 025°	44° / 081°	3	815.77	30	2.26	10	0.16	0.58	1.39	
		63° / 025°	57° / 053°	3	815.77	30	2.26	10	0.16	0.37	20.80	
Aliviadero Sección 6-6	Talud Izquierdo	63° / 205°	39° / 268°	3	815.77	30	2.40	10	0.16	0.68	1.21	

Fuente: Elaboración propia.



**Figura 5.6.** Análisis de falla planar en el Túnel – Portal de Entrada – Talud Frontal (63°) – en condiciones estáticas.

Fuente: Elaboración propia.

### 5.2.5. Análisis de fallas por cuña

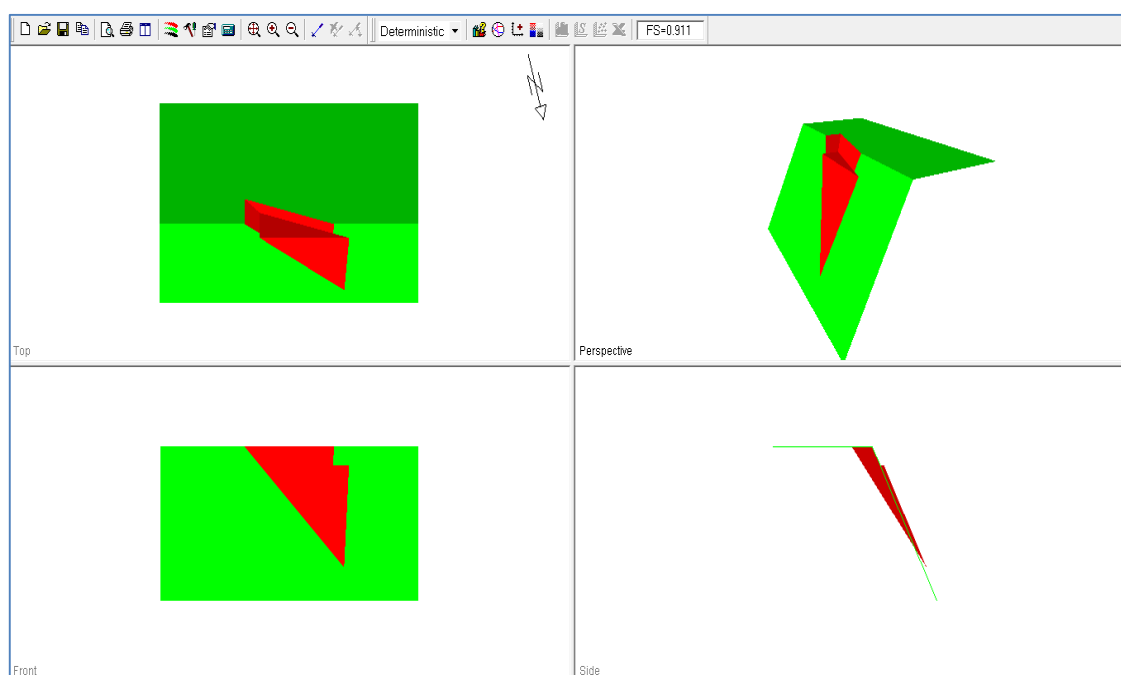
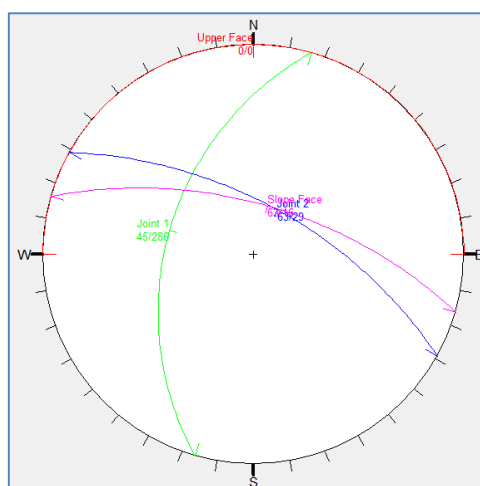
Esta evaluación se ha realizado teniendo en consideración un talud de 10 m y una banqueta de 2 m, las condiciones usadas en el análisis fueron las más desfavorables. Este tipo de falla se produce a través de dos discontinuidades dispuestas oblicuamente a la superficie del talud con la línea de intersección de ambas, aflorando en la superficie del mismo además del buzamiento desfavorable.

La obtención del Factor de Seguridad es más compleja que en el caso de rotura planar debido a que el cálculo debe hacerse en tres dimensiones, entrando en la caracterización geométrica del problema, lo cual conlleva un número mucho mayor de variables angulares.

Para el caso se ha determinado los factores de seguridad de los taludes de corte, para las fallas por cuña, mediante el software Swedge v4.0 (Ver Fig. 5.7), considerando los datos más críticos de interpretación, tales como; cohesión del material, ángulo de fricción, peso específico y la altura del talud de corte. Similar a la evaluación por falla planar, para los



cortes en los portales de entrada y salida del túnel, se ha utilizado un coeficiente de aceleración sísmica 0.24 recomendado en el estudio de peligro sísmico y en los cortes del aliviadero se usó un coeficiente de aceleración sísmica 0.16. El Cuadro 5.11 y 5.12 muestran los resúmenes de la evaluación realizada.



**Figura 5.7.** Análisis de falla tipo cuña en el Túnel – Portal de Entrada – Talud derecho en condiciones estáticas (Fam 1 y 2).

Fuente: Elaboración propia.

**Cuadro 5.11.** Factores de seguridad – Datos para análisis de Falla tipo cuña – Portales de Entrada y Salida de Túnel.

Sector	Sector	Angulo de Talud	Familias que producen fallas por Cuña	Parámetros de resistencia		Peso Unitario (TM/m <sup>3</sup> )	Geometría del talud		Coef. aceler. sísmica (g)	Factor de Seguridad Pseudo - estático	Factor de Seguridad Pseudo – estático con sostenimiento
				c (TM/m <sup>2</sup> )	φ (°)		Altura (m)				
Portal de Entrada a Túnel	Corte Lateral Derecho	63° / 016°	Cuña entre: 45° / 286° y 63° / 029°	0	30	2.40	10	0.24	0.66	1.63	
Portal de Salida de Túnel	Corte Frontal	76° / 228°	Cuña entre: 39° / 268° y 74° / 195°	0	30	2.40	10	0.24	0.52	1.56	
			Cuña entre: 39° / 268° y 64° / 161°	0	30	2.40	10	0.24	0.76	1.53	
	Corte Lateral Derecho	76° / 138°	Cuña entre: 64° / 043° y 64° / 161°	0	30	2.40	10	0.24	0.65	1.07	
			Cuña entre: 76° / 091° y 64° / 161°	0	30	2.40	10	0.24	0.25	1.65	
			Cuña entre: 74° / 195° y 64° / 161°	0	30	2.40	10	0.24	0.51	1.56	
	Corte Lateral Izquierdo	76° / 318°	Cuña entre: 39° / 268° y 74° / 195°	0	30	2.40	10	0.24	0.55	2.08	

Fuente: Elaboración propia.

**Cuadro 5.12.** Factores de seguridad – Datos para análisis de Falla tipo cuña – Aliviadero.

Sector	Sector	Angulo de Talud	Familias que producen fallas por Cuña	Parámetros de resistencia		Peso Unitario (TM/m <sup>3</sup> )	Geometría del talud		Coef. aceler. Sísmica (g)	Factor de Seguridad Pseudo – estático	Factor de Seguridad Pseudo – estático con sostenimiento
				c (TM/m <sup>2</sup> )	φ (°)		Altura (m)				
Aliviadero Sección 2-2	Talud Izquierdo	63° / 272°	Cuña entre: 85° / 047° y 38° / 276°	0	30	2.26	10	0.16	0.61	7.30	
Aliviadero Sección 3-3	Talud Izquierdo	63° / 272°	Cuña entre: 34° / 276° y 84° / 005°	0	30	2.26	10	0.16	0.67	10.27	
			Cuña entre: 34° / 276° y 79° / 180°	0	30	2.26	10	0.16	0.76	5.60	
Aliviadero Sección 4-4	Talud Derecho	63° / 025°	Cuña entre: 82° / 170° y 65° / 160°	0	30	2.26	10	0.16	4.55	-	
Aliviadero Sección 6-6	Talud Izquierdo	63° / 205°	Cuña entre: 39° / 268° y 64° / 161°	0	30	2.40	10	0.16	0.84	9.32	

Fuente: Elaboración propia.

**5.2.6. Interpretación de resultados**

De los análisis realizados se recomienda los siguientes taludes de corte como se muestran en los Cuadros 5.13 y 5.14:

**Cuadro 5.13.** Talud de corte – Portales de Entrada y Salida de Túnel.

Estructura	Sector	Talud cara de Banco	Ángulo	Observaciones
Portal de Entrada a Túnel	Corte Frontal	1H:2V	63°	Desquinche de bloques sueltos y sostenimiento con shotcrete y pernos según recomendación de la evaluación geomécanica.
	Corte Lateral Derecho	1H:2V		
	Corte Lateral Izquierdo	1H:2V		
Portal de Salida de Túnel	Corte Frontal	1H:4V	76°	Desquinche de bloques sueltos. Evaluación de requerimiento de sostenimiento luego del corte. Uso de voladura controlada.
	Corte Lateral Derecho	1H:4V		
	Corte Lateral Izquierdo	1H:4V		

Fuente: Elaboración propia.

**Cuadro 5.14.** Talud de corte – Sección del aliviadero.

Estructura	Sector	Talud cara de Banco	Ángulo	Observaciones
Aliviadero	Corte Lateral	1H:2V	63°	Desquinche de bloques sueltos y sostenimiento con shotcrete y pernos según recomendación de la evaluación geomécanica.
	Corte Lateral Izquierdo	1H:2V		

Fuente: Elaboración propia.

Para ambos casos se debe evaluar luego del corte la necesidad de considerar sostenimiento

**5.3. ESTABILIDAD GLOBAL**

Se ha realizado el análisis de estabilidad global para los taludes de corte permanente para los taludes de los portales de entrada y salida, que quedarán expuestos para la excavación del túnel proyectado. Se determinó el Factor de Seguridad a partir del uso del programa Slide v5.0 para el análisis (Ver Cuadro 5.15), considerando las propiedades del macizo rocoso en el corte para la roca tipo IV del análisis realizado.

**Cuadro 5.15.** Factor de Seguridad en Taludes, analizados globalmente – Portales de Entrada y Salida.

Estructura	Sector	Factor de Seguridad		Sistema de sostenimiento
		Análisis Estático	Análisis Pseudoestático	
Portal de Entrada a Túnel	Talud Frontal	1.750	1.330	Analizado globalmente. Es estable.
	Talud Lateral Derecho	2.200	1.836	Analizado globalmente. Es estable.
	Talud Lateral Izquierdo	0.258	0.202	Inestable, talud de 6.5m altura. Se considera local.
Portal de Salida de Túnel	Talud Frontal	1.373	1.084	Analizado globalmente. Es estable.
	Talud Lateral Derecho	1.106	0.911	Inestable, talud de 13 m altura. Se considera local.
	Talud Lateral Izquierdo	1.381	1.139	Analizado globalmente. Es estable.

Fuente: Elaboración propia.

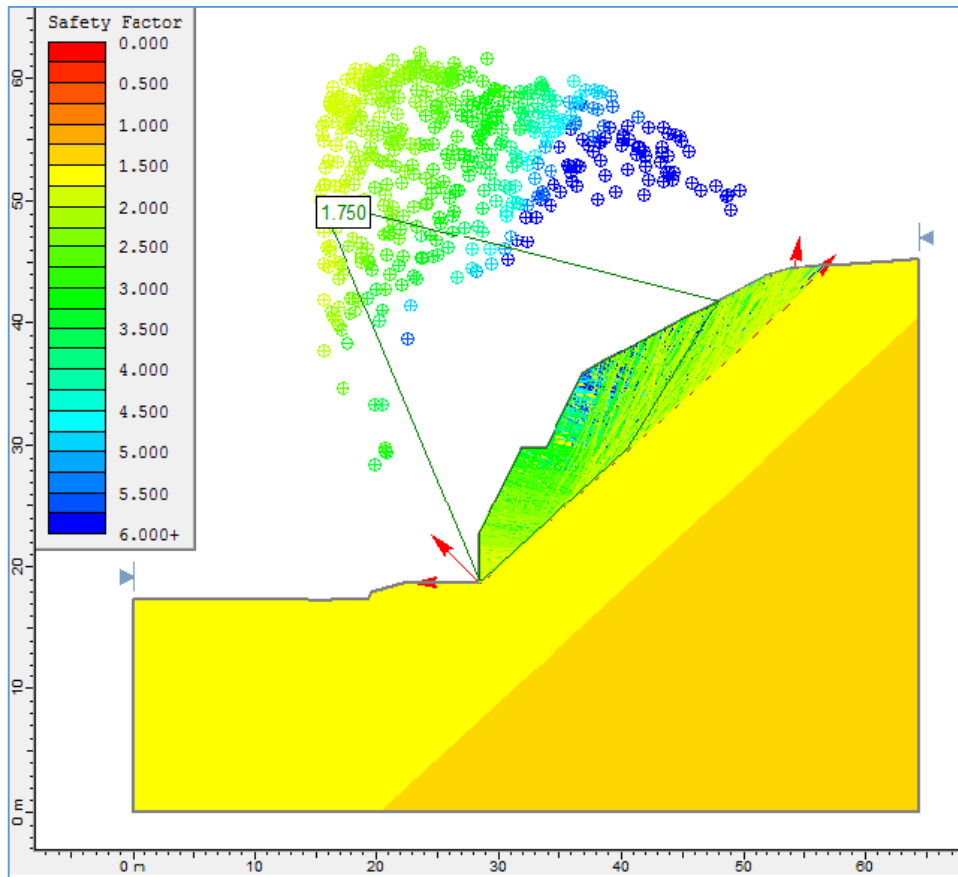
Se observa en los taludes de analizados, que los factores de seguridad son estables en la mayoría de los casos, pero se está asumiendo fallas secuenciales, que darán origen a la inestabilidad en el talud, estas fallas serán generadas por grietas de tensión o familias de discontinuidades. Con el mismo programa Slide v5.0 (Ver Fig. 5.8) se realizó una simulación de la posible falla inicial que generará el fallamiento secuencial, los resultados se muestran en el Cuadro 5.16.

**Cuadro 5.16.** Factor de Seguridad en taludes, asumiendo fallamiento secuencial –  
Portales de Entrada y Salida.

Estructura	Sector	Factor de Seguridad		Sistema de sostenimiento
		Análisis Estático con Perno	Análisis Pseudoestático con Perno	
Portal de Entrada a Túnel	Talud Frontal	1.281	1.060	Shotcrete de 3” de espesor y malla, con pernos de anclaje pasivos de 6 m de longitud, espaciados 2 m a lo largo de la sección de corte con un ángulo de 20° con respecto a la Hz.
	Talud Lateral Derecho	1.223	1.082	Shotcrete de 3” de espesor con pernos de anclaje pasivos de 6m de longitud, espaciados 2 m a lo largo de la sección de corte, con un ángulo de 15° con respecto a la Hz.
	Talud Lateral Izquierdo	1.491	1.403	Shotcrete de 3” de espesor con pernos de anclaje pasivos de 4 m de longitud, espaciados 2.5 m a lo largo de la sección de corte, con un ángulo de 15° con respecto a la Hz.
Portal de Salida de Túnel	Talud Frontal	1.205	1.021	Shotcrete de 3½” de espesor y malla, con pernos de anclaje pasivos de 7.5 m de longitud, espaciados 2 m a lo largo de la sección de corte, con un ángulo de 25° con respecto a la Hz.
	Talud Lateral Derecho	1.186	1.032	Shotcrete de 3” de espesor con pernos de anclaje pasivos de 5 m de longitud, espaciados 3 m a lo largo de la sección de corte, con un ángulo de 15° con respecto a la Hz.
	Talud Lateral Izquierdo	1.255	1.056	Shotcrete de 3” de espesor con pernos de anclaje pasivos de 4 m de longitud, espaciados 3 m a lo largo de la sección de corte, con un ángulo de 15° con respecto a la Hz.

Fuente: Elaboración propia.

En los taludes frontales, tanto en los portales de entrada y salida se recomienda shotcrete con malla, debido que los planos de estratificación presentes en las rocas sedimentarias, se encuentran desfavorables al talud, formando fallas planares. La ubicación y espaciado de los pernos serán afinados en campo, los cuales serán designados por los especialistas en obra.



**Figura 5.8.** Análisis de estabilidad global en el Portal de entrada del túnel – Talud frontal en condiciones estáticas.

Fuente: Elaboración propia.

## CONCLUSIONES

**PRIMERA:** Los parámetros de resistencia de los materiales, que conforman los taludes, se han determinado en función de los ensayos de campo, resultados de laboratorio y experiencia de proyectos similares. Tanto en el portal de entrada y salida del túnel Pumamayo son de Tipo IV, de una mala calidad del macizo rocoso.

**SEGUNDA:** En el análisis de fallas locales; se propone un ángulo ( $63^\circ$ ) en los cortes del portal de entrada del túnel, se tienen la formación de 2 tipos de cuñas (falla planar y cuña); en los taludes de corte del portal de salida se propone un ángulo de talud de  $76^\circ$  y se tienen la formación de 3 tipos de falla (falla planar, cuña y volteo) y para el caso del aliviadero se propone un ángulo de talud de  $63^\circ$ , con la formación de los tres tipos de fallas (falla planar, cuña y volteo).

**TERCERA:** En el análisis de falla planar la evaluación se realizó considerando un talud de 10 m y una banquetta de 2 m, los análisis se realizaron considerando cortes de talud de 1:4 (H: V) y 1:2 (H: V). En este análisis para los cortes en los portales de entrada y salida se ha utilizado un coeficiente de aceleración sísmica 0.24 recomendado en el estudio de peligro sísmico y en los cortes del aliviadero se usó un coeficiente de aceleración sísmica 0.16.

**CUARTA:** Los factores de seguridad para el análisis de falla planar (análisis pseudo - estático) en los portales de entrada y salida del túnel y en el aliviadero de demasías, se presentan en el Cuadro 5.17 y 5.18:

**Cuadro 5.17.** Factores de seguridad – Datos para análisis de Falla Planar – Portales De Entrada y Salida de Túnel.

Estructura	Sector	Coficiente	F.S.	F.S.
Portal de	Corte Frontal	0.24	0.47	4.57
Portal de Salida de Túnel	Corte Frontal	0.24	0.57	1.37
	Corte Lateral	0.24	0.18	1.16
	Corte Lateral	0.24	0.57	1.29

Fuente: Elaboración propia.

**Cuadro 5.18.** Factores de seguridad – Datos para análisis de Falla Planar – Aliviadero.

Estructura	Sector	Coficiente	F.S.	F.S.
Aliviadero	Talud Izquierdo	0.16	0.70	1.26
Aliviadero	Talud Izquierdo	0.16	0.80	1.28
Aliviadero	Talud derecho	0.16	0.58	1.39
		0.16	0.37	20.80
Aliviadero	Talud Izquierdo	0.16	0.68	1.21

Fuente: Elaboración propia.

**QUINTA:** En el análisis de falla cuña la evaluación se realizó considerando un talud de 10 m y una banquetta de 2 m, en este análisis para los cortes en los portales de entrada y salida del túnel, se ha utilizado un coeficiente de aceleración sísmica 0.24 recomendado en el estudio de peligro sísmico y en los cortes del aliviadero se usó un coeficiente de aceleración sísmica 0.16.

**SEXTA:** Los factores de seguridad para el análisis de falla cuña (análisis pseudo - estático) en el aliviadero de demasías, se presentan en los Cuadros 5.19 y 5.20:



**Cuadro 5.19.** Factores de seguridad – Datos para análisis de Falla tipo cuña – Portales de Entrada y Salida de Túnel.

Sector	Sector	Coefficiente	F.S.	F.S.
Portal de Entrada	Corte Lateral	0.24	0.66	1.63
Portal de Salida de Túnel	Corte Frontal	0.24	0.52	1.56
		0.24	0.76	1.53
	Corte Lateral	0.24	0.65	1.07
		Derecho	0.24	0.25
			0.24	0.51
	Corte Lateral	0.24	0.55	2.08

Fuente: Elaboración propia.

**Cuadro 5.20.** Factores de seguridad – Datos para análisis de Falla tipo cuña – Aliviadero.

Sector	Sector	Coefficiente Aceleración sísmica (g)	F.S. Pseudo – estático	F.S. Pseudo – estático con sostenimiento
Aliviadero	Talud Izquierdo	0.16	0.61	7.30
Aliviadero Sección 3-3	Talud Izquierdo	0.16	0.67	10.27
		0.16	0.76	5.60
Aliviadero	Talud Derecho	0.16	4.55	-
Aliviadero	Talud Izquierdo	0.16	0.84	9.32

Fuente: Elaboración propia.

**SÉPTIMA:** El sistema de sostenimiento sugerido final se presenta en el Cuadro 5.21:

**Cuadro 5.21.** Sistema de sostenimiento sugerido final.

Estructura	Sector	Factor de Seguridad		Sistema de sostenimiento
		Análisis Estático	Análisis Pseudoestático	
Portal de Entrada a Túnel	Talud Frontal	1.281	1.060	Shotcrete de 3” de espesor y malla, con pernos de anclaje pasivos de 6m de longitud, espaciados 2 m a lo largo de la sección de corte con un ángulo de 20° con respecto a la Hz.
	Talud Lateral Derecho	1.223	1.082	Shotcrete de 3” de espesor con pernos de anclaje pasivos de 6m de longitud, espaciados 2 m a lo largo de la sección de corte, con un ángulo de 15° con respecto a la Hz.
	Talud Lateral Izquierdo	1.491	1.403	Shotcrete de 3” de espesor con pernos de anclaje pasivos de 4 m de longitud, espaciados 2.5 m a lo largo de la sección de corte, con un ángulo de 15° con respecto a la Hz.
Portal de Salida de Túnel	Talud Frontal	1.205	1.021	Shotcrete de 3½” de espesor y malla, con pernos de anclaje pasivos de 7.5 m de longitud, espaciados 2 m a lo largo de la sección de corte, con un ángulo de 25° con respecto a la Hz.
	Talud Lateral Derecho	1.186	1.032	Shotcrete de 3” de espesor con pernos de anclaje pasivos de 5 m de longitud, espaciados 3 m a lo largo de la sección de corte, con un ángulo de 15° con respecto a la Hz.
	Talud Lateral Izquierdo	1.255	1.056	Shotcrete de 3” de espesor con pernos de anclaje pasivos de 4 m de longitud, espaciados 3 m a lo largo de la sección de corte, con un ángulo de 15° con respecto a la Hz.

Fuente: Elaboración propia.

**RECOMENDACIONES**

**PRIMERA:** De los análisis realizados se recomienda los siguientes taludes de corte, os cuales se muestran en los Cuadros 5.22 y 5.23:

**Cuadro 5.22.** Talud de corte – Portales de Entrada y Salida de Túnel.

Estructura	Sector	Talud cara de Banco	Ángulo	Observaciones
Portal de Entrada a Túnel	Corte Frontal	1H:2V	63°	Desquinche de bloques sueltos y sostenimiento con shotcrete y pernos según recomendación de la evaluación geomécanica.
	Corte Lateral	1H:2V		
	Corte Lateral Izquierdo	1H:2V		
Portal de Salida de Túnel	Corte Frontal	1H:4V	76°	Desquinche de bloques sueltos. Evaluación de requerimiento de sostenimiento luego del corte. Uso de voladura controlada.
	Corte Lateral	1H:4V		
	Corte Lateral Izquierdo	1H:4V		

Fuente: Elaboración propia.

**Cuadro 5.23.** Talud de corte – Sección del aliviadero.

Estructura	Sector	Talud cara	Ángulo	Observaciones
Aliviadero	Corte Lateral	1H:2V	63°	Desquinche de bloques sueltos y sostenimiento con shotcrete y pernos según recomendación de la evaluación geomécanica.
	Corte Lateral Izquierdo	1H:2V		

Fuente: Elaboración propia.

**SEGUNDA:** Para ambos casos se debe evaluar luego del corte la necesidad de considerar sostenimiento.

**TERCERA:** De acuerdo a los análisis de discontinuidades, estabilidad local y global, se ha determinado un ángulo inter rampa y el ángulo de la cara de banco como se muestra en el Cuadro 5.24:

**Cuadro 5.24.** Relación de la altura de banco y cara de banco.

Corte	Altura	Talud cara de Banco	Observación
Portal de Entrada	De hasta 7 m de altura con Banqueta de 2 m	1H:2V	Desquinche de bloques sueltos y sostenimiento con pernos según evaluación de la supervisión.
Portal de Salida	Bancos de 6 m de altura con Banqueta de 2 m	1H:4V	Desquinche de bloques sueltos, evaluación de requerimiento de sostenimiento luego del corte. Uso de voladura controlada.

Fuente: Elaboración propia.

**CUARTA:** Se recomienda el desquinche de los bloques sueltos luego de culminado el proceso de corte.

**QUINTA:** Para el aliviadero se recomienda realizar la limpieza después del corte, es decir, desquinche de bloques sueltos.

**SEXTA:** Se recomienda realizar una evaluación global post-corte.

**BIBLIOGRAFÍA**

- Barton, N., Lien, R. & Lunde J. (1974). *Engineering Classification of Rock Masses for the Design of Tunnel Support*. Rock Mechanics 6.
- Bieniawski, Z.T. (1989). *Engineering Rock Mass Classifications*. John Wiley & Sons, New York.
- Boletín y cuadrángulo geológico de la Hoja de Macusani (29-v). (2010), *publicado por el Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET)*.
- CESEL S.A. (2013). *Estudio de Aprovechamiento desde la Pre-factibilidad a Definitivo, para Central Hidroeléctrica San Gabán II*.
- Golder Asoc. – Itasca - Piteau (2000). “*Cuajone Pit Slope Design Recommendations. Vol. I.*” Informe técnico remitido a SPCC.
- Gonzales, L. (2004). *Ingeniería Geológica*. Editorial PEARSON Prentice Hall, Madrid España.
- Itasca S.A. (2008). *Evaluación de la Estabilidad de la Pared Este Tajo Cuajone*. Informe Final preparado para SPCC.
- Flores, J. (2010). <http://www.academia.edu/8605294/> CAPITULO\_VIII\_8. CLASIFICACIONES\_GEOMECHANICAS.
- Read, J., & Stacey, P. (2009): “*Guidelines for open Pit Slope Design*”. CRC Press; 1st Ed. USA.
- Rocscience (2006): **DIPS v.5.0**. *Graphical and Statistical Analysis of Orientation Data*. Canada.

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

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

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

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

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

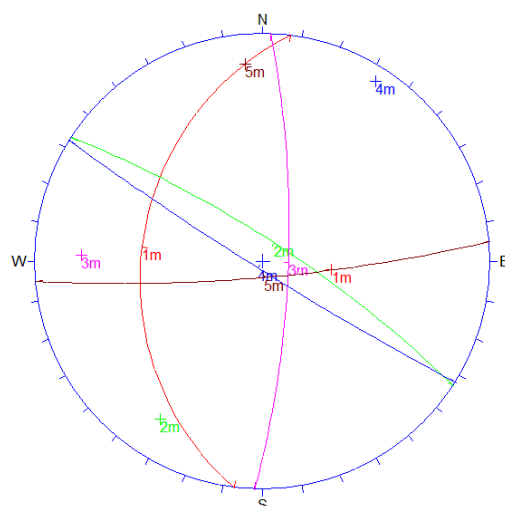
Wyllie Duncan and Mah Christopher (2005). *“Rock Slope engineering civil and mining”* 4<sup>th</sup> Edition, USA and Canada.

## ANEXOS

1. ANEXO A: ANÁLISIS DE DISCONTINUIDADES

1.1. ANEXO A.1: PRINCIPALES FAMILIAS DE DISCONTIUIDADES

1.1.1. Principales familias de discontinuidades

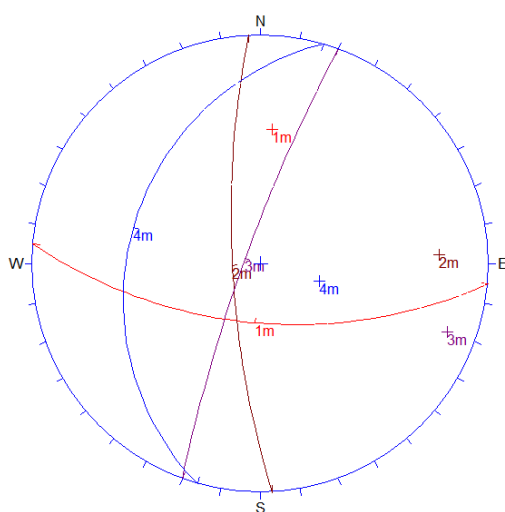


Orientations

ID	Dip / Direction
1 m	34 / 277 Estratificación
2 m	79 / 033
3 m	77 / 092
4 m	86 / 212
5 m	82 / 175

EG-01A

Equal Angle  
Lower Hemisphere  
23 Poles  
13 Entries



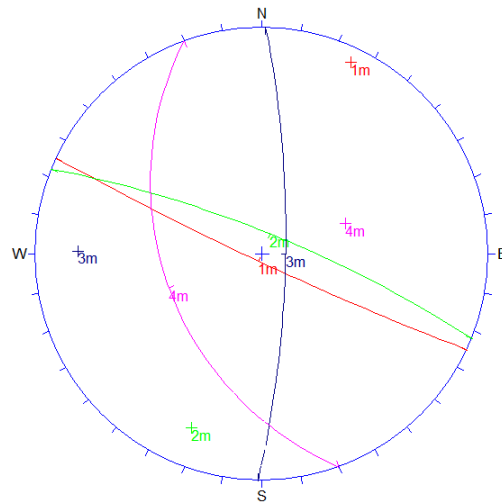
Orientations

ID	Dip / Direction
1 m	61 / 185
2 m	76 / 267
3 m	82 / 290
4 m	30 / 286 Estratificación

EG-02 A

Equal Angle  
Lower Hemisphere  
11 Poles  
9 Entries



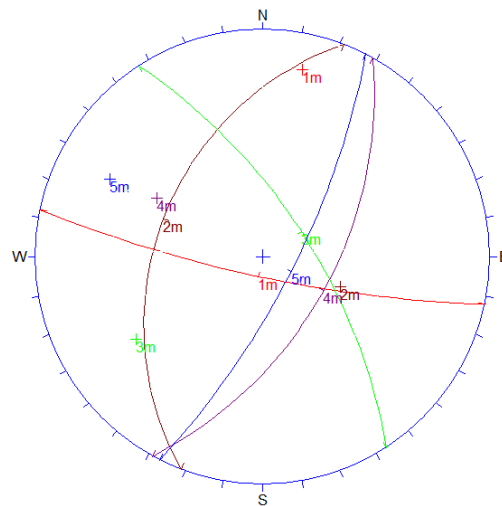


Orientations

ID	Dip / Direction
1 m	86 / 205
2 m	79 / 022
3 m	78 / 091
4 m	43 / 250 Estratificación

EG-03A

Equal Angle  
Lower Hemisphere  
14 Poles  
11 Entries

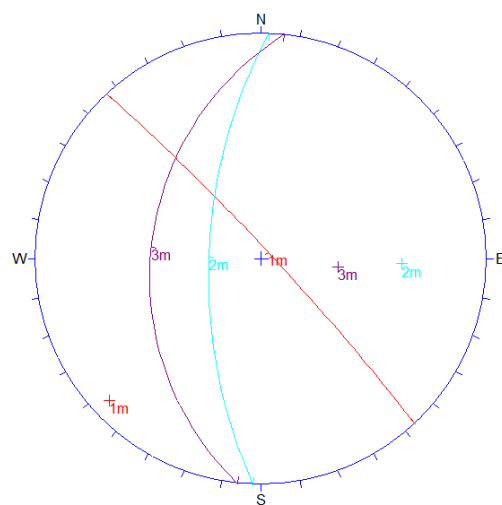


Orientations

ID	Dip / Direction
1 m	80 / 192
2 m	40 / 291 Estratificación
3 m	67 / 057
4 m	56 / 119
5 m	74 / 117

EG-04A

Equal Angle  
Lower Hemisphere  
9 Poles  
9 Entries

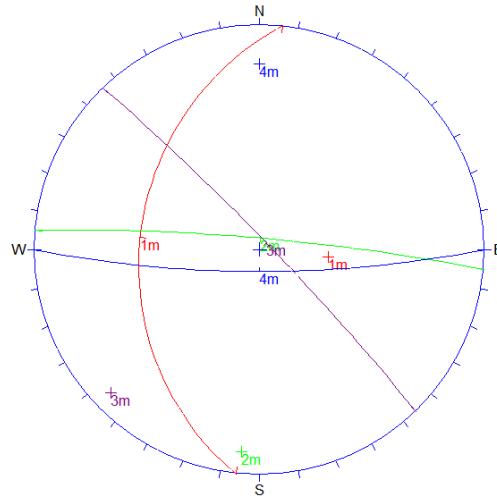


Orientations

ID	Dip / Direction
1 m	85 / 047
2 m	64 / 272
3 m	38 / 276 Estratificación

EG-05A

Equal Angle  
Lower Hemisphere  
10 Poles  
10 Entries

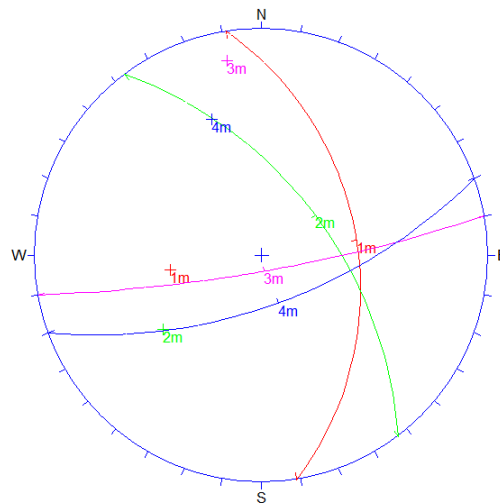


Orientations

ID	Dip / Direction
1 m	34 / 276 Estratificación
2 m	84 / 005
3 m	85 / 046
4 m	79 / 180

EG-06A

Equal Angle  
Lower Hemisphere  
10 Poles  
10 Entries

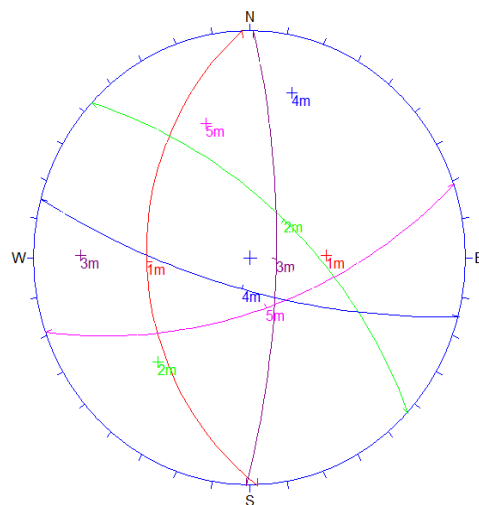


Orientations

ID	Dip / Direction
1 m	44 / 081
2 m	57 / 053
3 m	82 / 170
4 m	65 / 160

EG-06

Equal Angle  
Lower Hemisphere  
4 Poles  
4 Entries

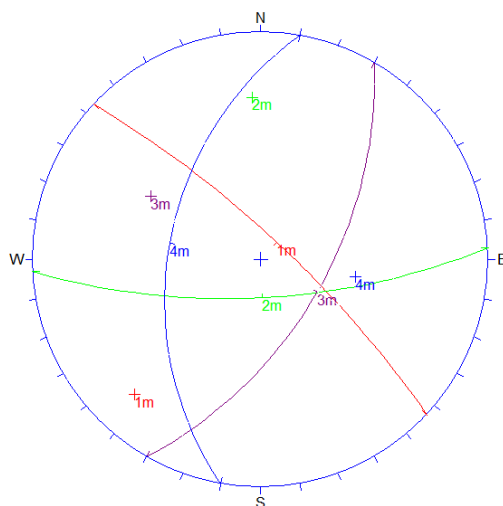


Orientations

ID	Dip / Direction
1 m	39 / 268 Estratificación
2 m	64 / 043
3 m	76 / 091
4 m	74 / 195
5 m	64 / 161

EG-7A

Equal Angle  
Lower Hemisphere  
20 Poles  
13 Entries

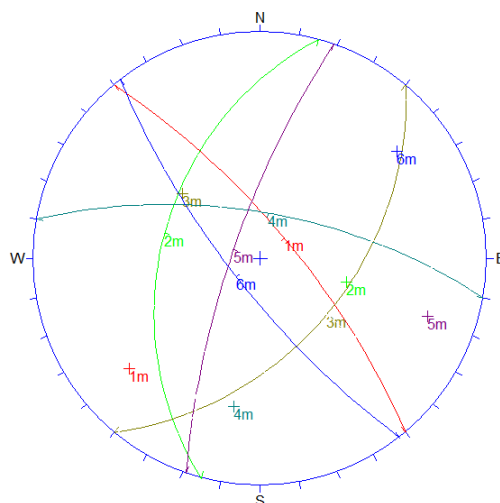


Orientations

ID	Dip / Direction
1 m	78 / 043
2 m	71 / 177
3 m	58 / 120
4 m	46 / 280 Estratificación

EG-08A

Equal Angle  
Lower Hemisphere  
13 Poles  
13 Entries

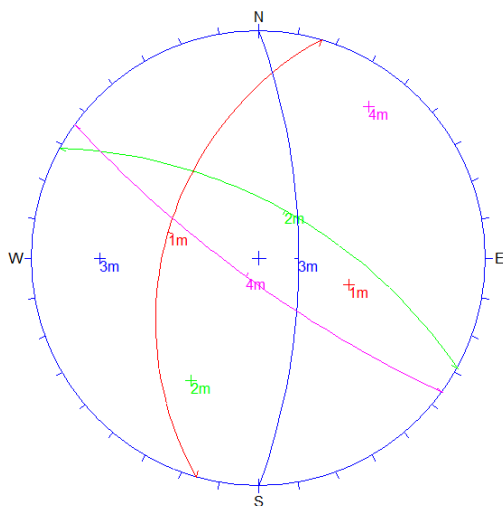


Orientations

ID	Dip / Direction
1 m	74 / 050
2 m	43 / 285 Estratificación
3 m	48 / 130
4 m	67 / 010
5 m	76 / 289
6 m	75 / 232

EG-09A

Equal Angle  
Lower Hemisphere  
16 Poles  
12 Entries



Orientations

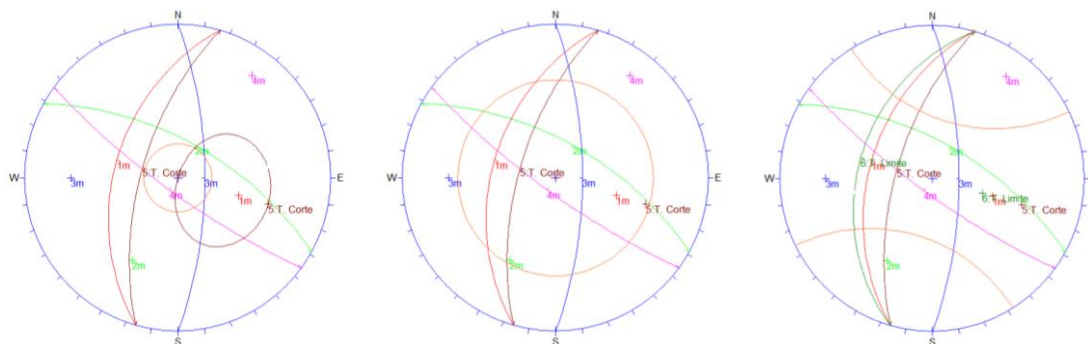
ID	Dip / Direction
1 m	45 / 286 Estratificación
2 m	63 / 029
3 m	70 / 090
4 m	79 / 216

EG-10A

Equal Angle  
Lower Hemisphere  
10 Poles  
10 Entries

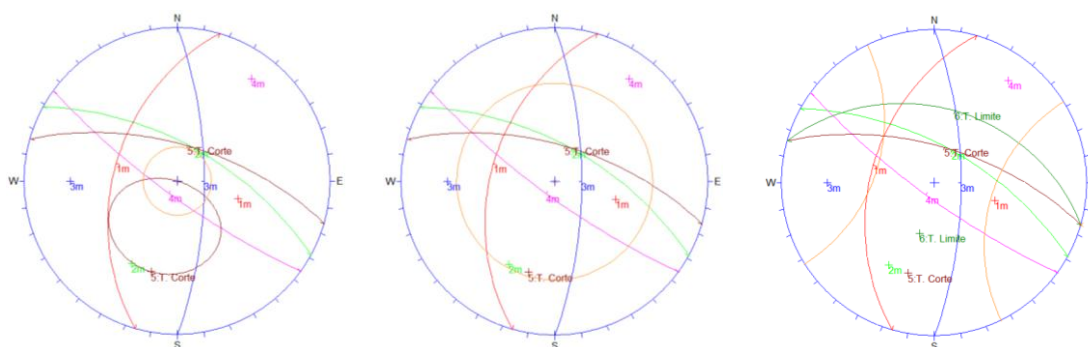
1.1.2. Análisis de tipo de falla en el Túnel Pumamayo

a. Túnel – Portal de Entrada (63°) – EG-10A



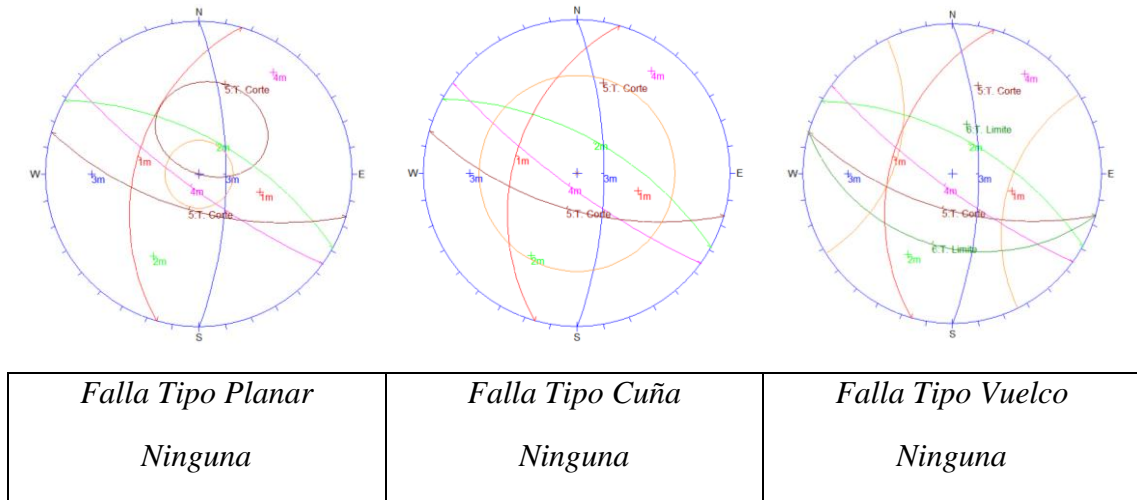
<i>Falla Tipo Planar</i>	<i>Falla Tipo Cuña</i>	<i>Falla Tipo Vuelco</i>
<i>Fam 1</i>	<i>Ninguna</i>	<i>Ninguna</i>

Figura 1. Portal de Entrada – Talud Frontal.



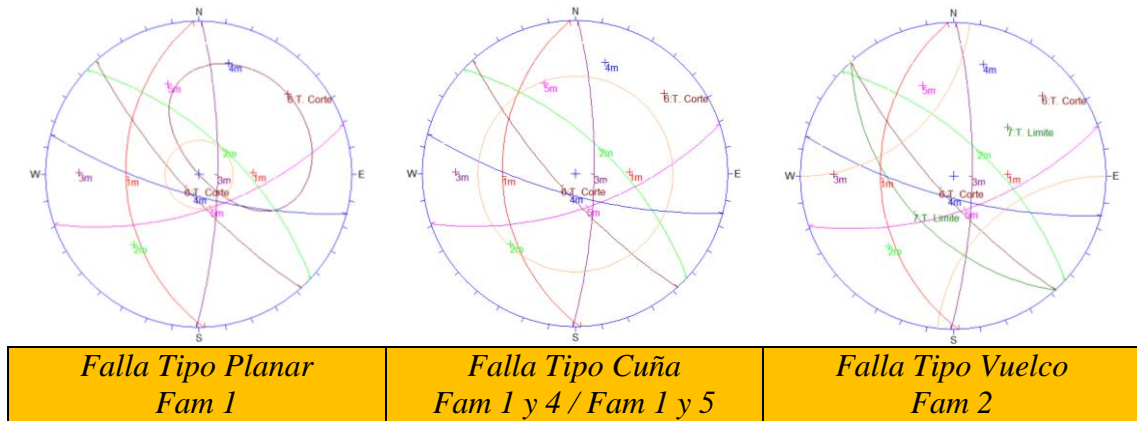
<i>Falla Tipo Planar</i>	<i>Falla Tipo Cuña</i>	<i>Falla Tipo Vuelco</i>
<i>Ninguna</i>	<i>Fam 1 y 2</i>	<i>Ninguna</i>

Figura 2. Portal de Entrada – Talud Derecho.

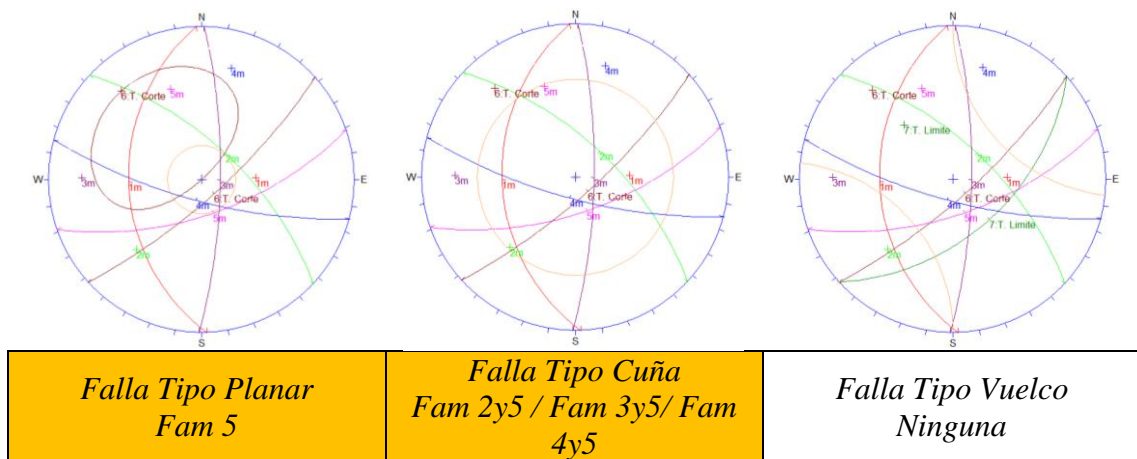


**Figura 3.** Portal de Entrada – Talud Izquierdo.

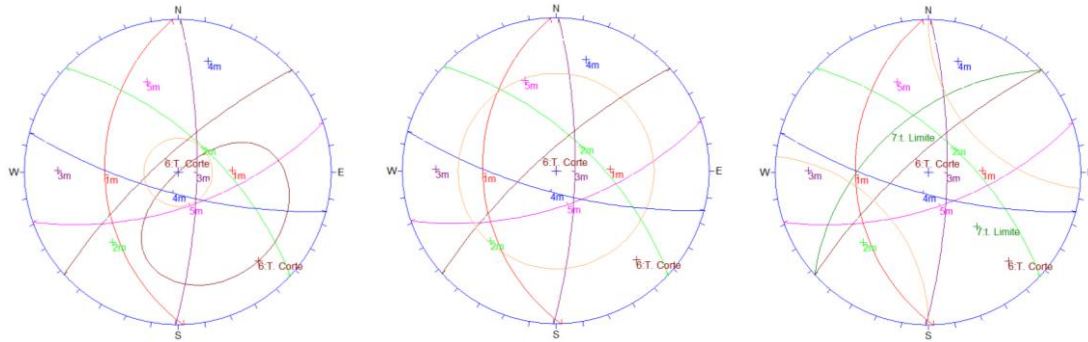
**b. Túnel – Portal de Salida (76°) – EG-07A**



**Figura 4.** Portal de Salida – Talud Frontal.



**Figura 5.** Portal de Salida – Talud Derecho.

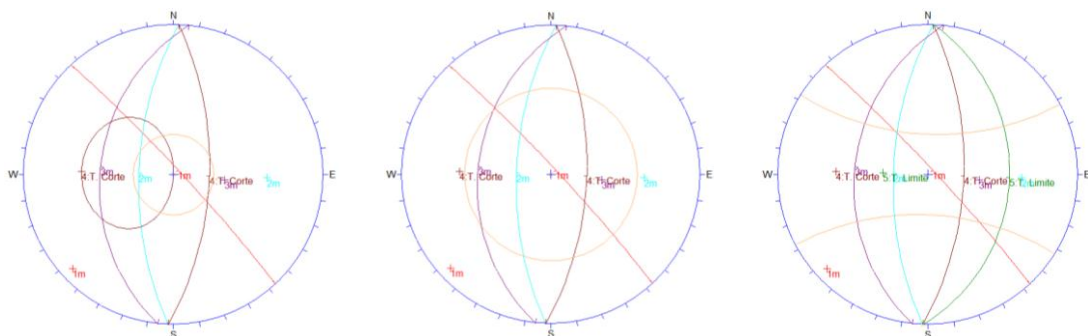


<i>Falla Tipo Planar</i>	<i>Falla Tipo Cuña</i>	<i>Falla Tipo Vuelco</i>
<i>Fam 1</i>	<i>Fam 1 y 4</i>	<i>Ninguna</i>

**Figura 6.** Portal de Salida – Talud Izquierdo.

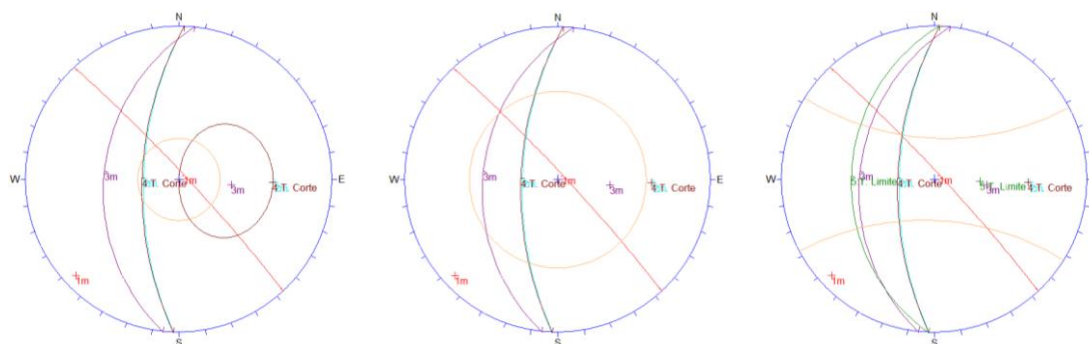
**1.1.3. Análisis de tipo de falla en el aliviadero**

**a. Aliviadero – Sección 2-2 (EG-05A)**



<i>Falla Tipo Planar</i>	<i>Falla Tipo Cuña</i>	<i>Falla Tipo Vuelco</i>
<i>Ninguna</i>	<i>Ninguna</i>	<i>Ninguna</i>

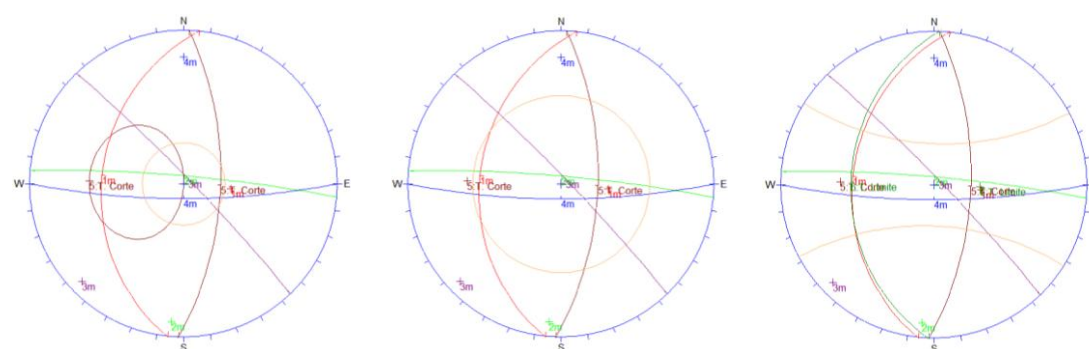
**Figura 7.** Aliviadero – Talud derecho (63°).



<i>Falla Tipo Planar</i>	<i>Falla Tipo Cuña</i>	<i>Falla Tipo Vuelco</i>
<i>Fam 3</i>	<i>Fam 1 y 3</i>	<i>Ninguna</i>

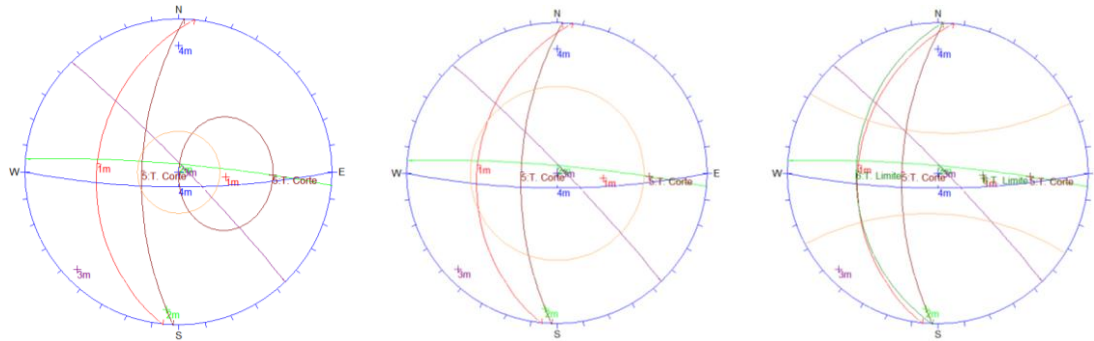
**Figura 8.** Aliviadero – Talud izquierdo (63°).

**b. Aliviadero – Sección 3-3 (EG-06A)**



<i>Falla Tipo Planar</i>	<i>Falla Tipo Cuña</i>	<i>Falla Tipo Vuelco</i>
<i>Ninguna</i>	<i>Ninguna</i>	<i>Ninguna</i>

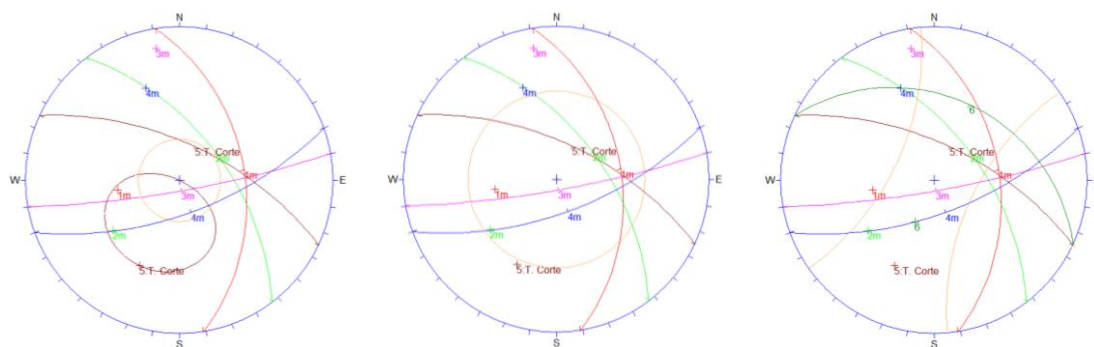
**Figura 9.** Aliviadero – Talud derecho (63°).



<i>Falla Tipo Planar</i>	<i>Falla Tipo Cuña</i>	<i>Falla Tipo Vuelco</i>
<i>Fam 1</i>	<i>Fam 1 y 2 / Fam 1 y 4</i>	<i>Ninguna</i>

**Figura 10.** Aliviadero – Talud Izquierdo (63°).

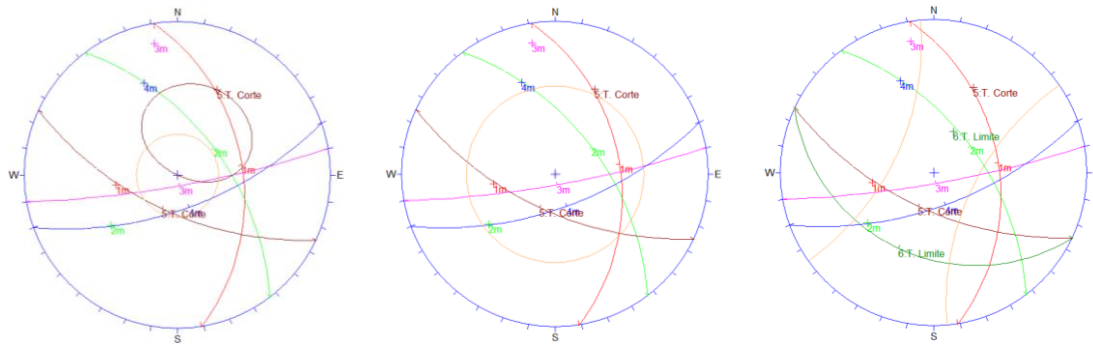
**c. Aliviadero – Sección 4-4 (EG-06)**



<i>Falla Tipo Planar</i>	<i>Falla Tipo Cuña</i>	<i>Falla Tipo Vuelco</i>
<i>Fam 1 / Fam 2</i>	<i>Fam 3 y 4</i>	<i>Ninguna</i>

**Figura 11.** Aliviadero – Talud derecho (63°).

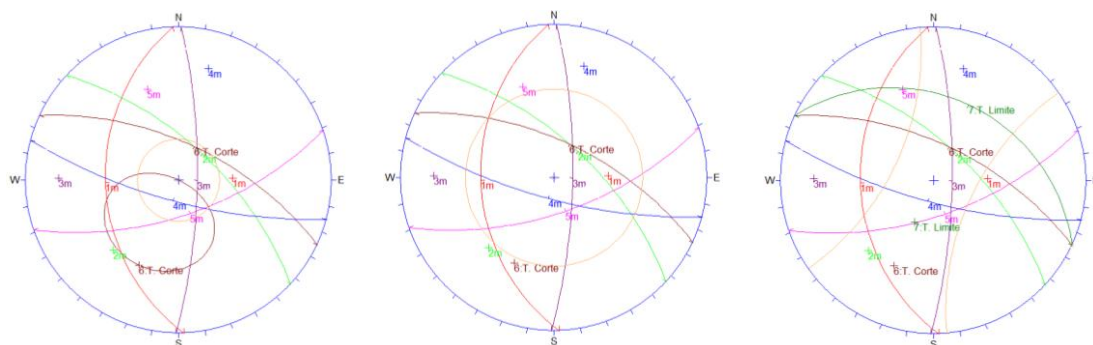




<i>Falla Tipo Planar</i>	<i>Falla Tipo Cuña</i>	<i>Falla Tipo Vuelco</i>
<i>Ninguna</i>	<i>Ninguna</i>	<i>Ninguna</i>

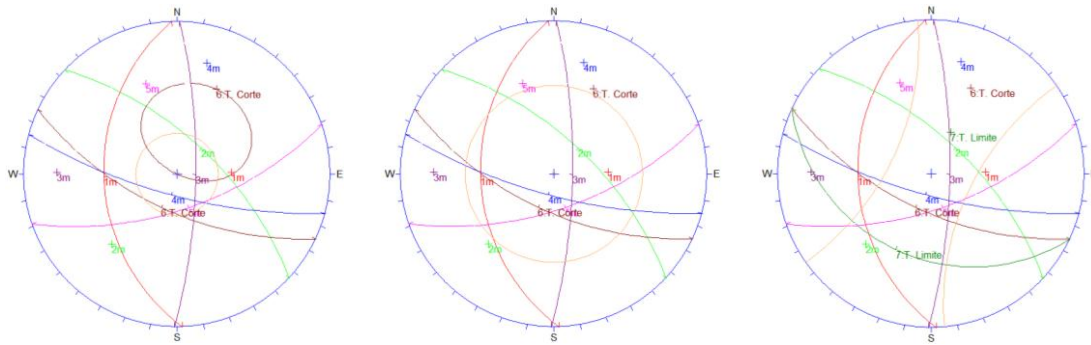
**Figura 12.** Aliviadero – Talud izquierdo (63°).

**d. Aliviadero – Sección 6-6 (EG-07A)**



<i>Falla Tipo Planar</i>	<i>Falla Tipo Cuña</i>	<i>Falla Tipo Vuelco</i>
<i>Ninguna</i>	<i>Ninguna</i>	<i>Fam 4</i>

**Figura 13.** Aliviadero – Talud derecho (63°).



<i>Falla Tipo Planar</i>	<i>Falla Tipo Cuña</i>	<i>Falla Tipo Vuelco</i>
<i>Fam 1</i>	<i>Fam 1 y 5</i>	<i>Ninguna</i>

**Figura 14.** Aliviadero – Talud izquierdo (63°).

1.2. ANEXO A.2: ANÁLISIS FALLA POR CUÑA

a. Túnel – Portal de entrada – Talud derecho (63°) – Fam 1y2

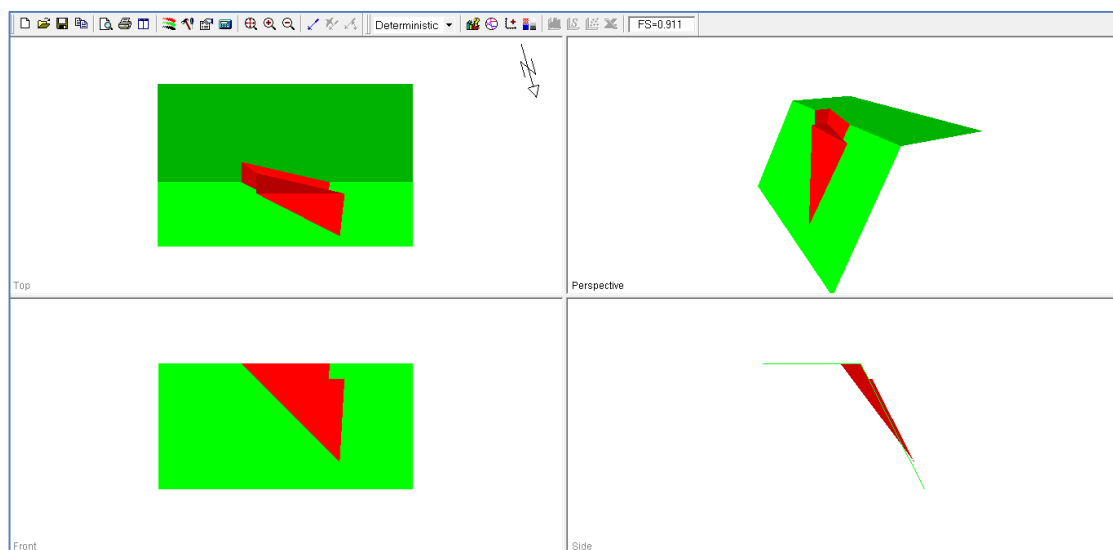
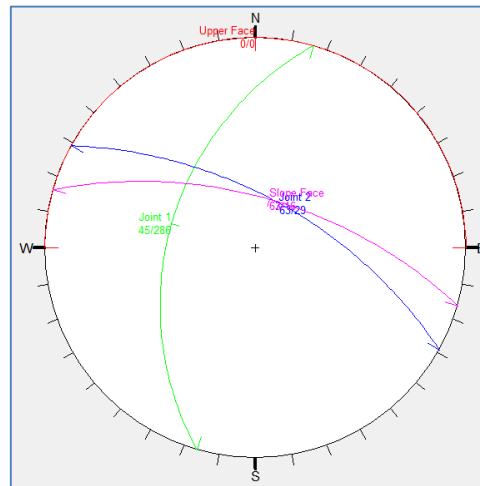
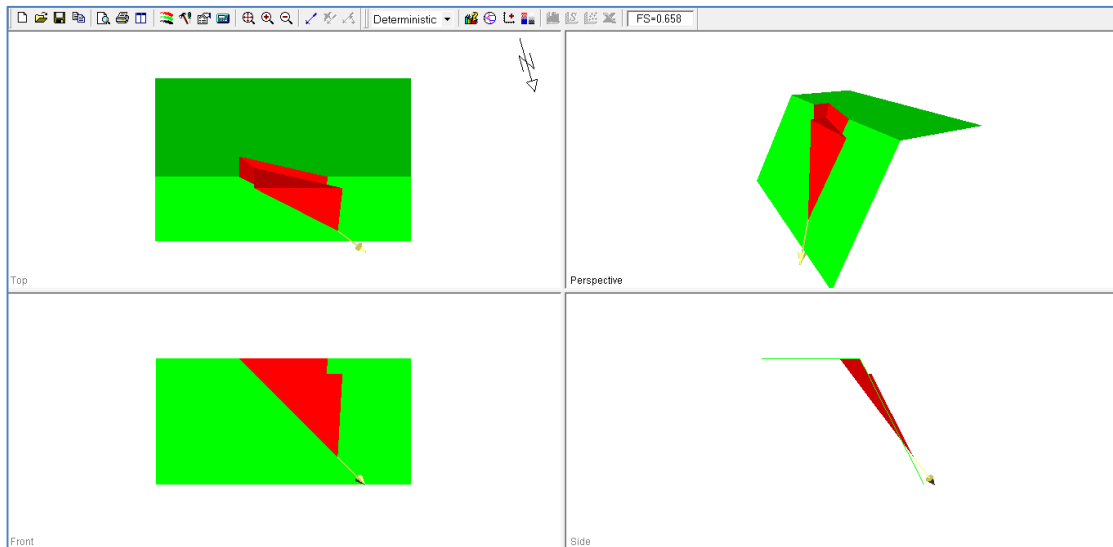
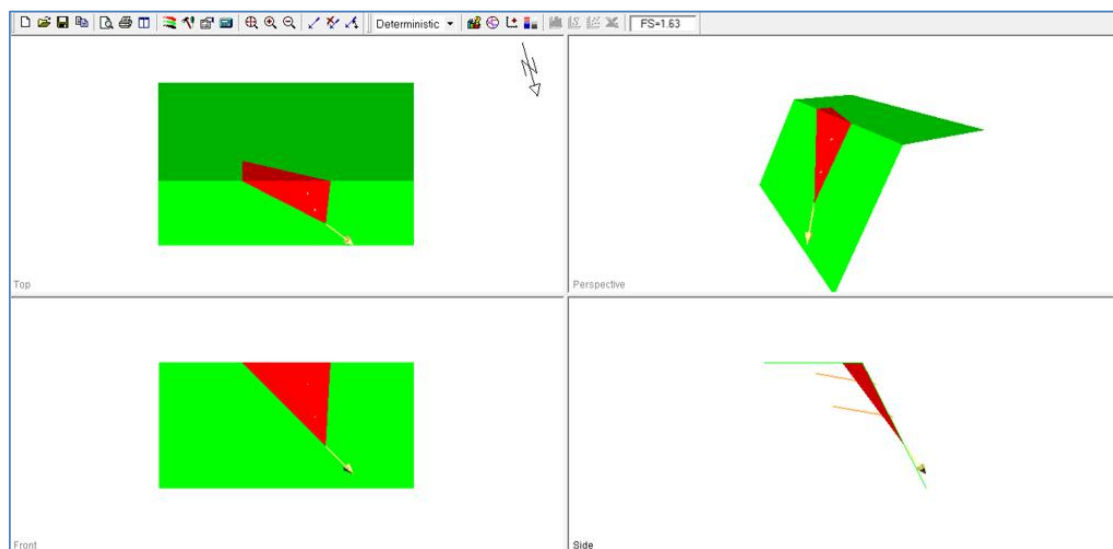


Figura 1. Análisis de falla por cuña condiciones estáticas (Fam 1 y 2).

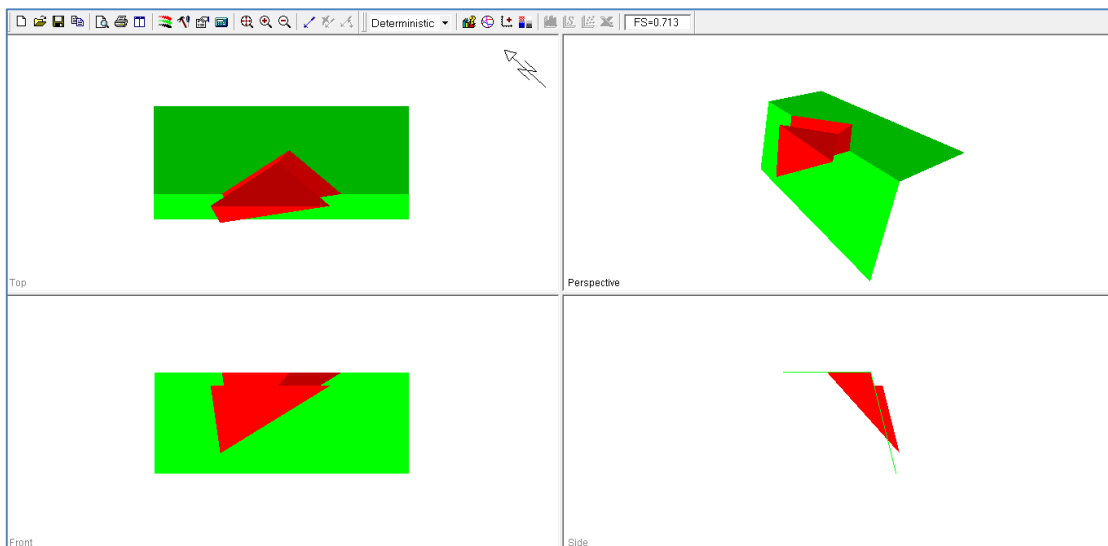
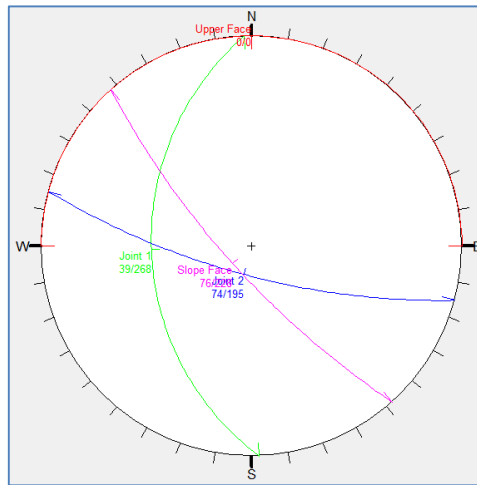


**Figura 2.** Análisis de falla por cuña condiciones pseudoestáticas.

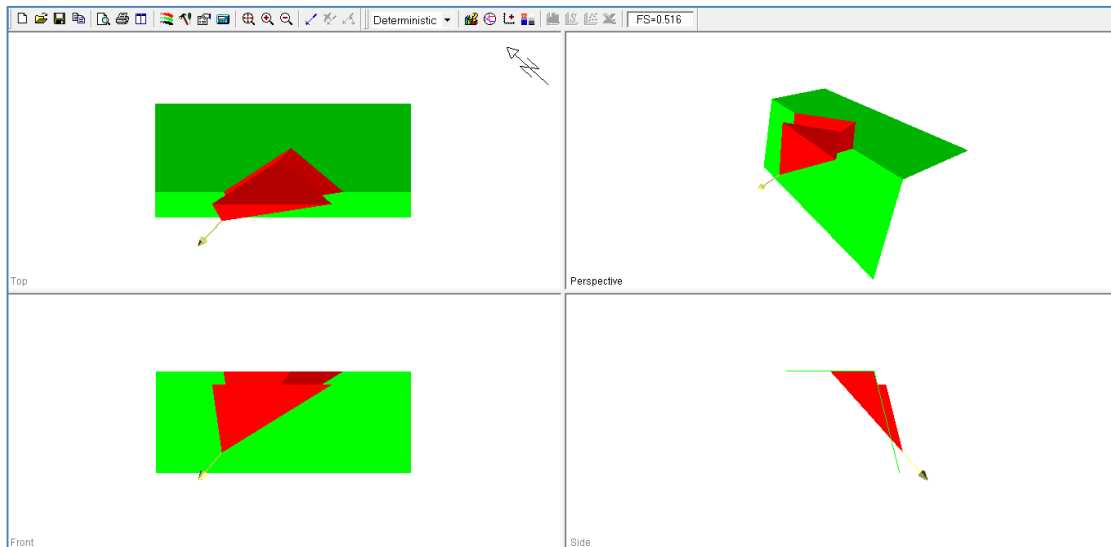


**Figura 3.** Análisis de falla por cuña condiciones pseudoestáticas con pernos de anclaje.

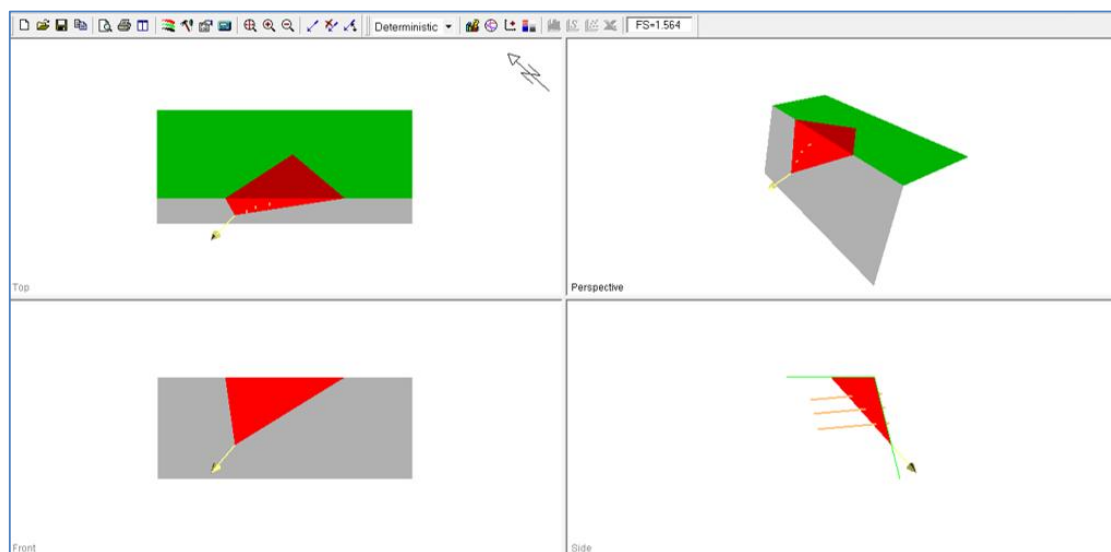
**b. Túnel - Portal de salida- Talud frontal (76°) – Fam 1y4**



**Figura 4.** Análisis de falla por cuña condiciones estáticas (Fam 1 y 4).

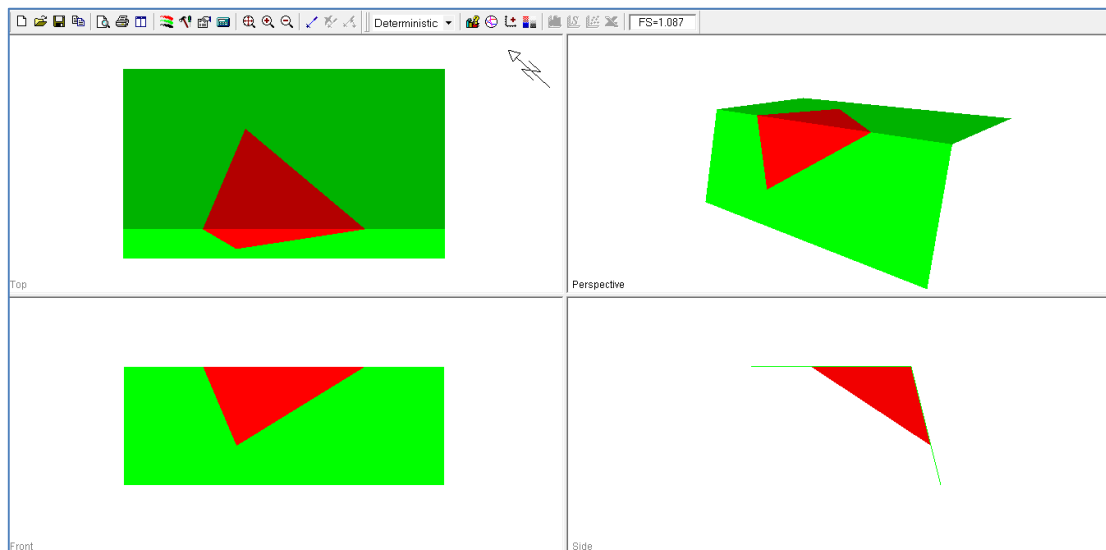
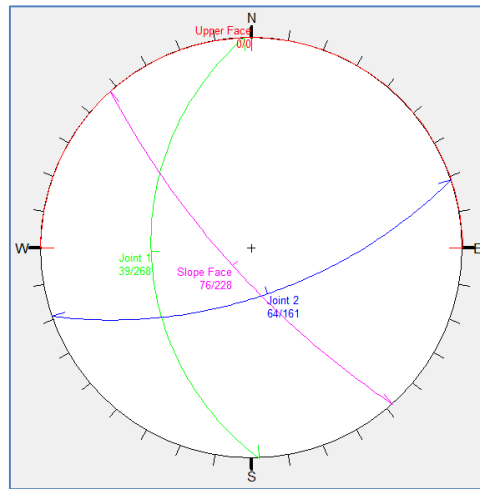


**Figura 5.** Análisis de falla por cuña condiciones pseudoestáticas.

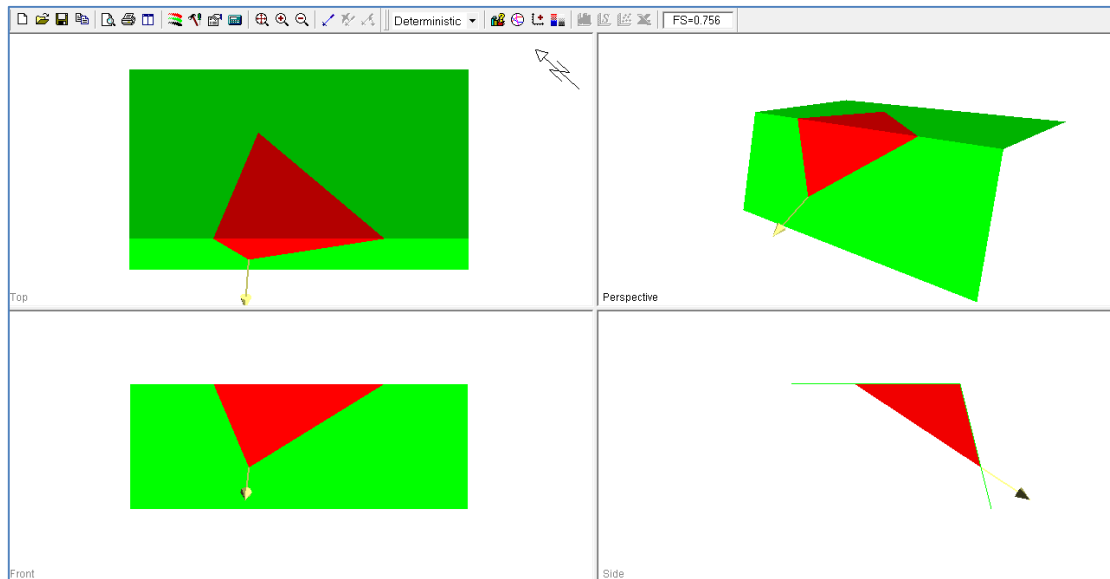


**Figura 6.** Análisis de falla por cuña condiciones pseudoestáticas aplicando perno de anclaje y Shotcrete de 3 pulg.

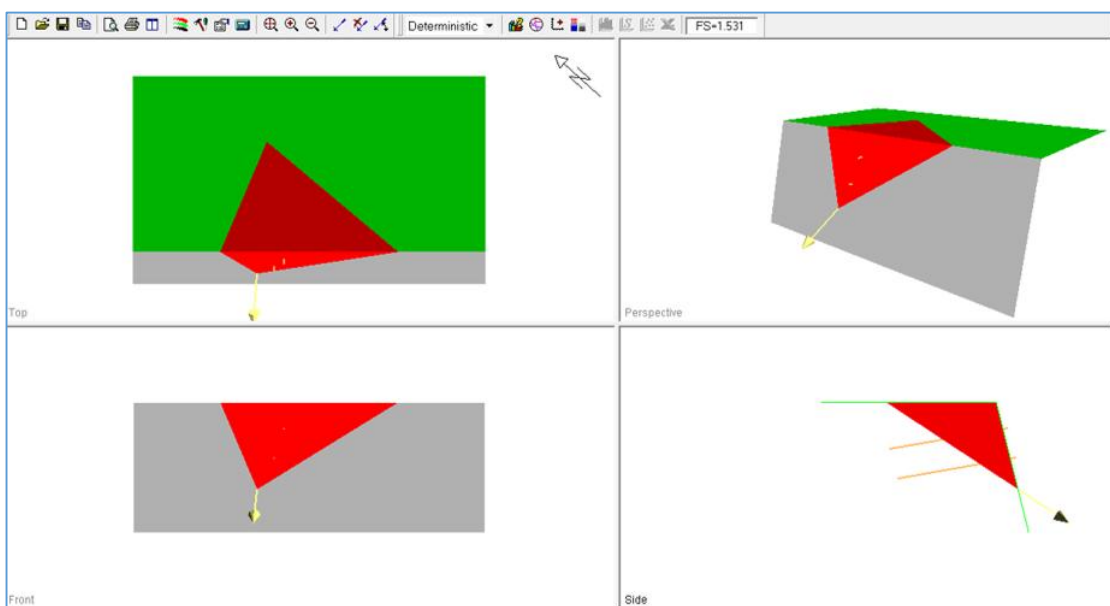
c. Túnel - Portal de salida- Talud frontal (76°) – Fam 1 y 5



**Figura 7.** Análisis de falla por cuña condiciones estáticas (Fam 1 y 5).



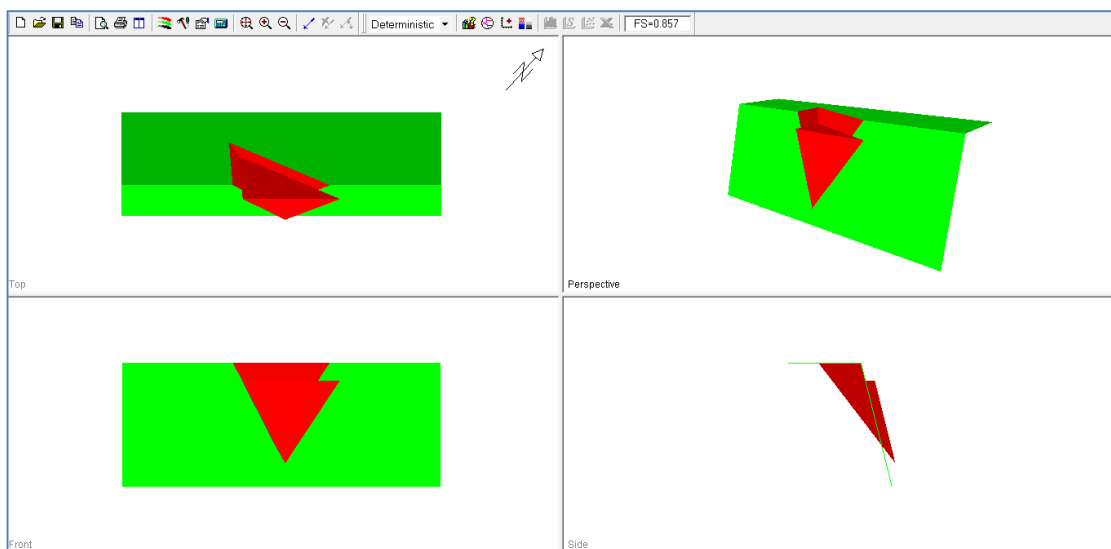
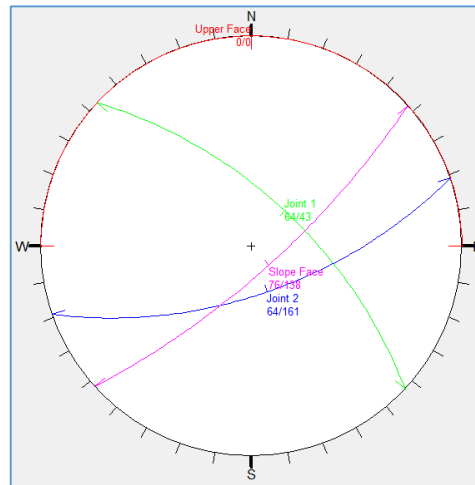
**Figura 8.** Análisis de falla por cuña condiciones pseudoestáticas.



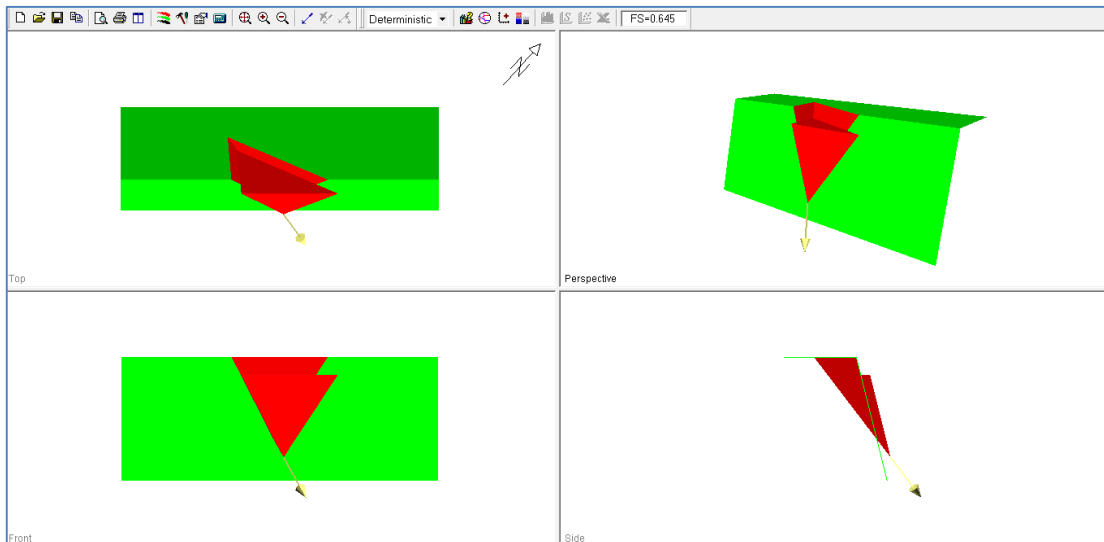
**Figura 9.** Análisis de falla por cuña condiciones pseudoestáticas aplicando pernos y Shotcrete de 3.5 pulg.



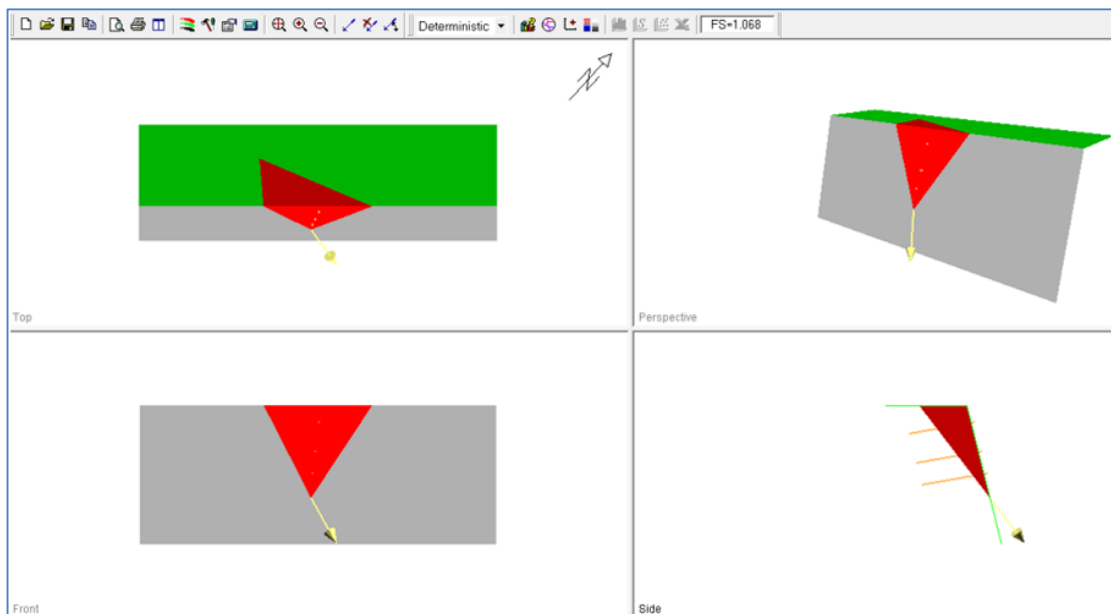
d. Túnel – Portal de salida – Talud derecho (76°) – Fam 2 y 5



**Figura 10.** Análisis de falla por cuña condiciones estáticas (Fam 2 y 5).

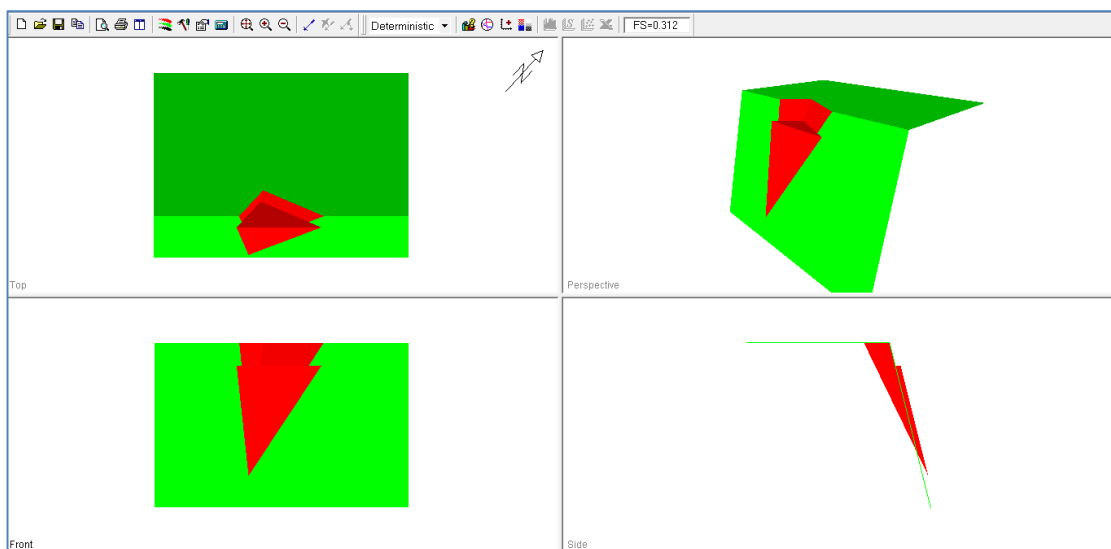
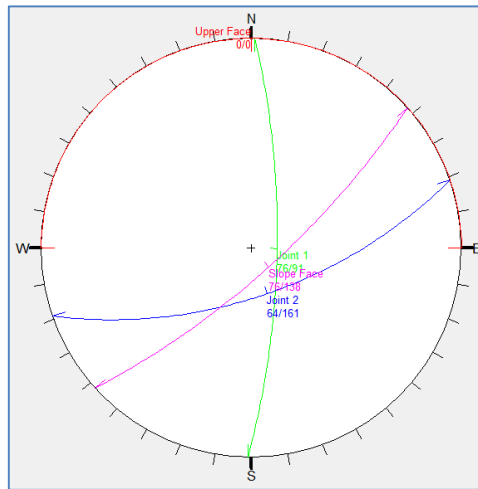


**Figura 11.** Análisis de falla por cuña condiciones pseudoestáticas.

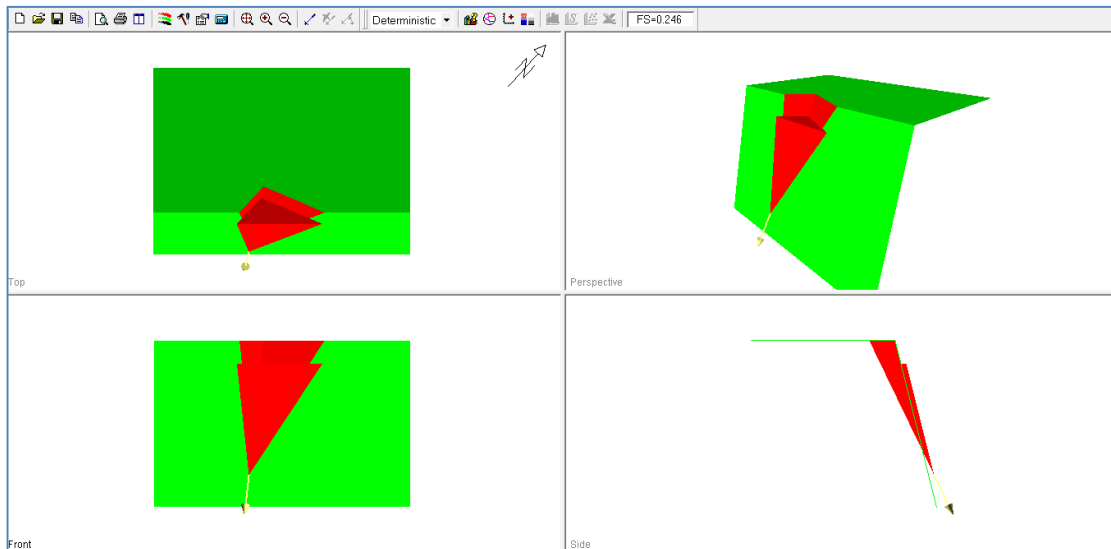


**Figura 12.** Análisis de falla por cuña condiciones pseudoestáticas aplicando perno de anclaje, se recomienda reforzar con Shotcrete de 2 pulg.

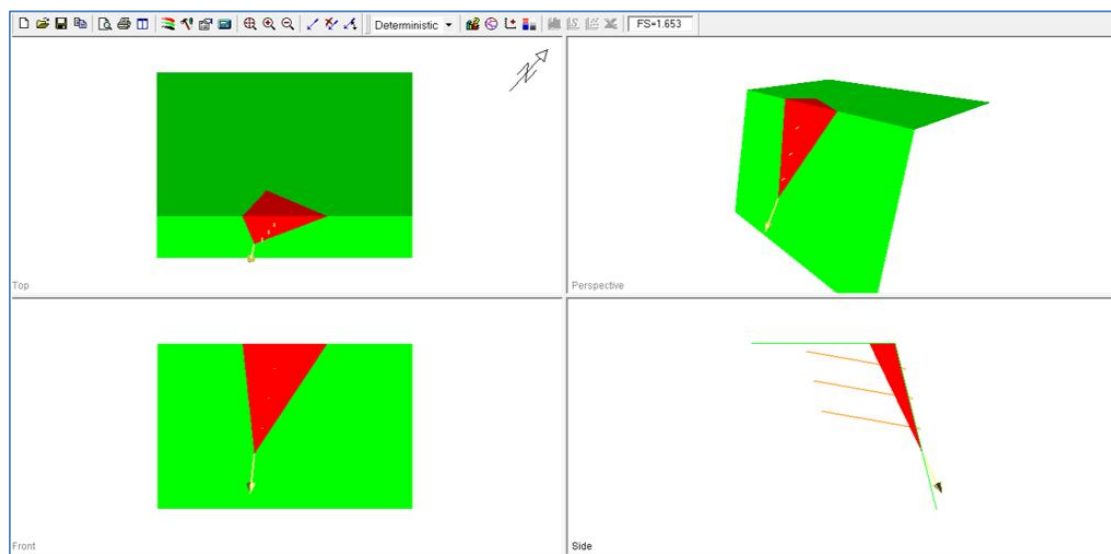
e. Túnel – Portal de salida – Talud derecho (76°) – Fam 3 y 5



**Figura 13.** Análisis de falla por cuña condiciones estáticas (Fam 3 y 5).

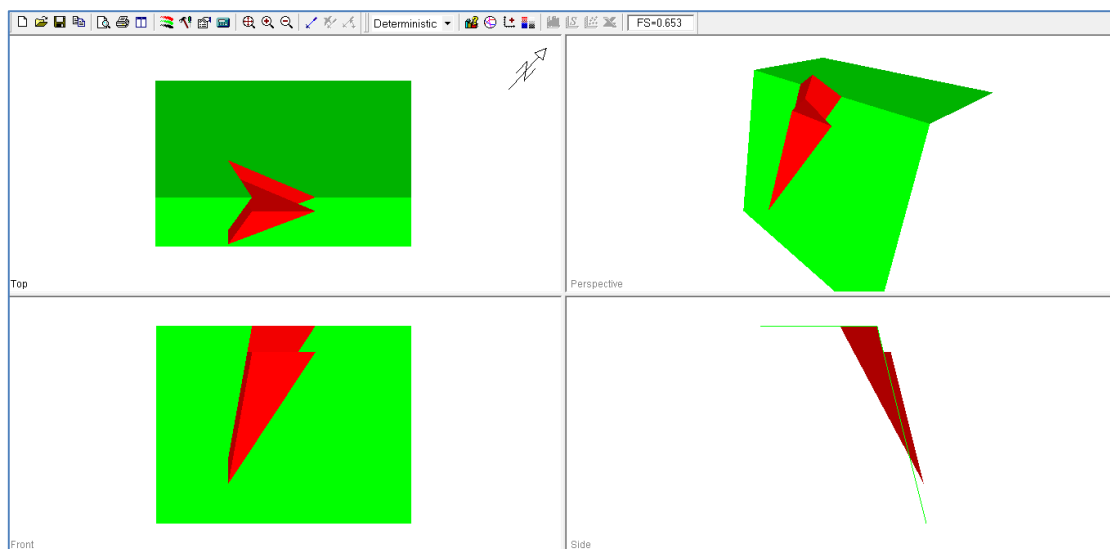
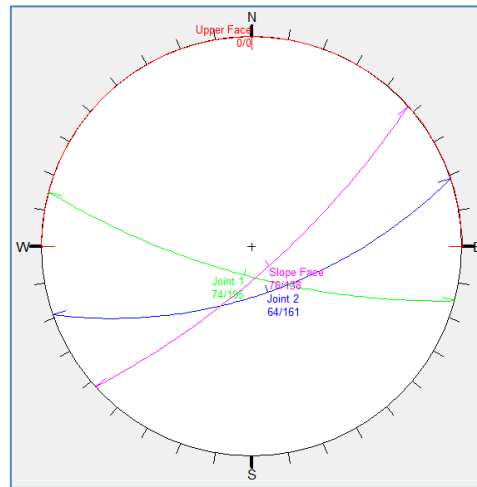


**Figura 14.** Análisis de falla por cuña condiciones pseudoestáticas.

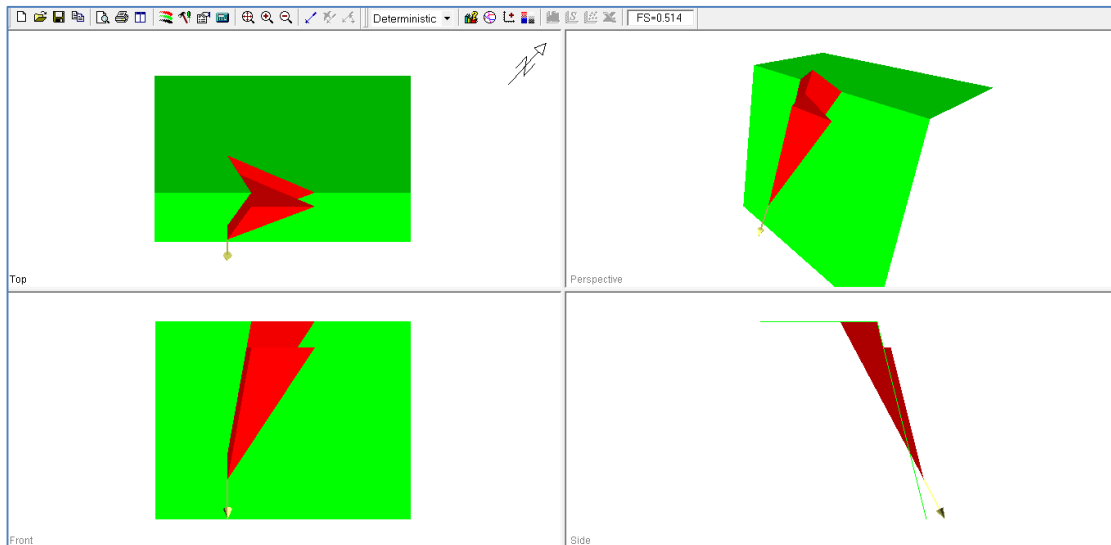


**Figura 15.** Análisis de falla por cuña condiciones pseudoestáticas aplicando pernos.

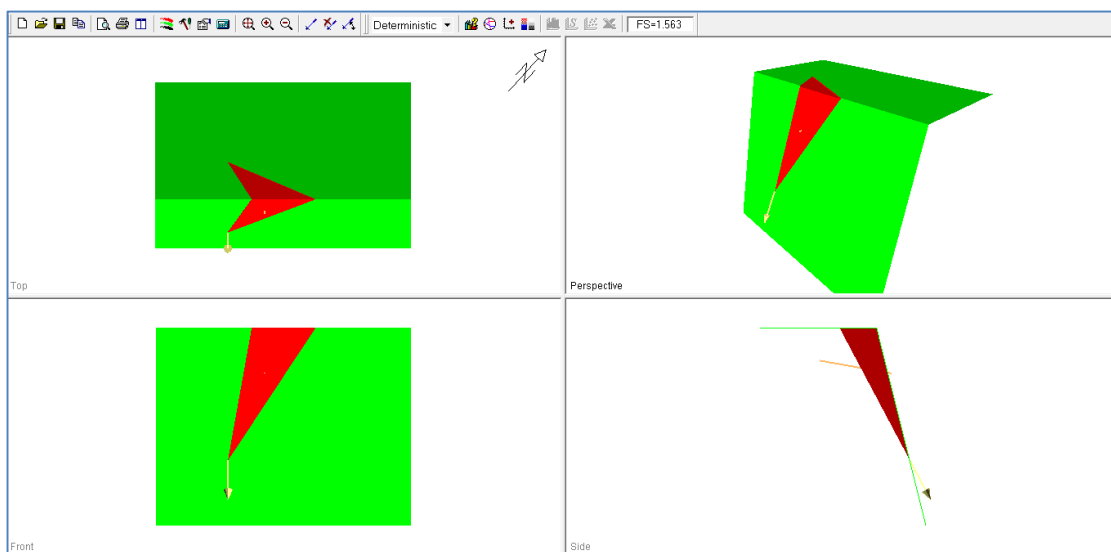
f. Túnel - Portal de salida- Talud derecho (76°) – Fam 4 y 5



**Figura 16.** Análisis de falla por cuña condiciones estáticas (Fam 4 y 5).



**Figura 17.** Análisis de falla por cuña condiciones pseudoestáticas.



**Figura 18.** Análisis de falla por cuña condiciones pseudoestática aplicando perno de anclaje.

g. Túnel - Portal de salida- Talud izquierdo (76°) – Fam 1 y 4

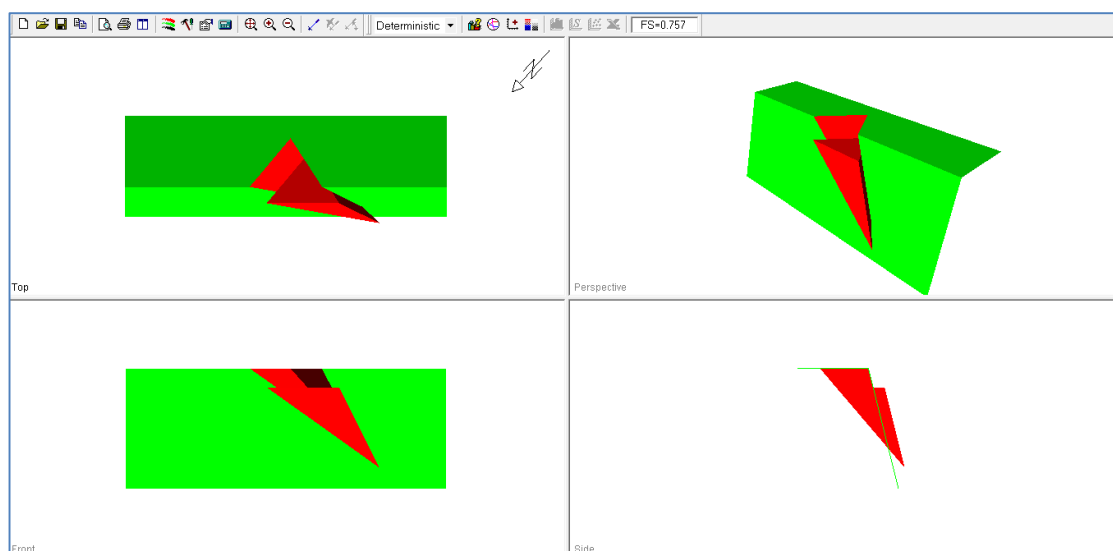
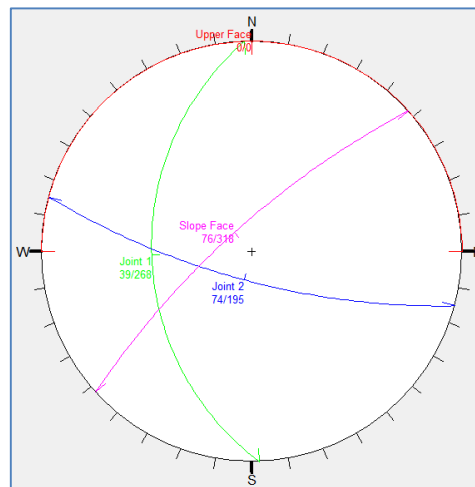
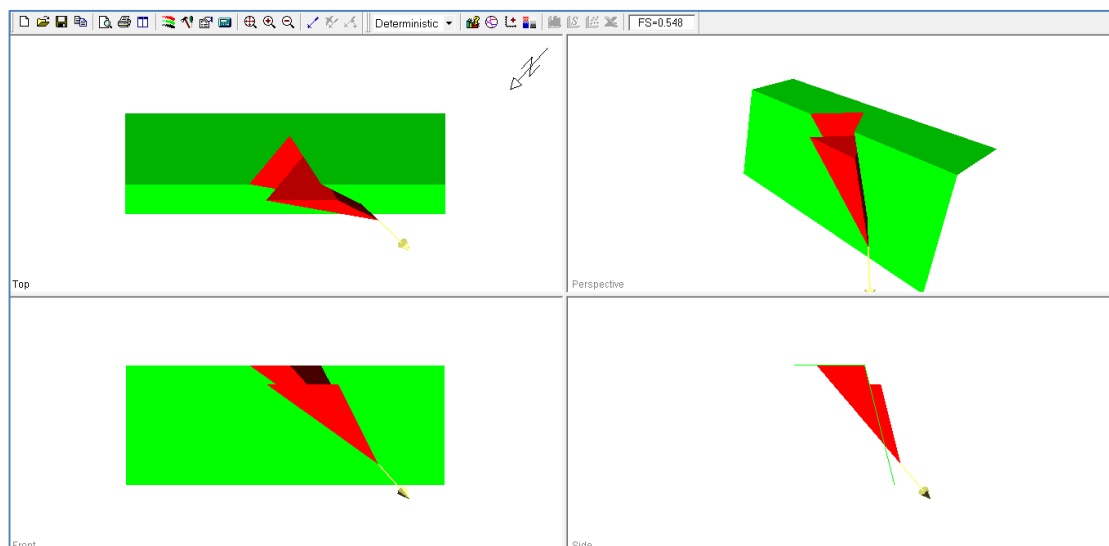
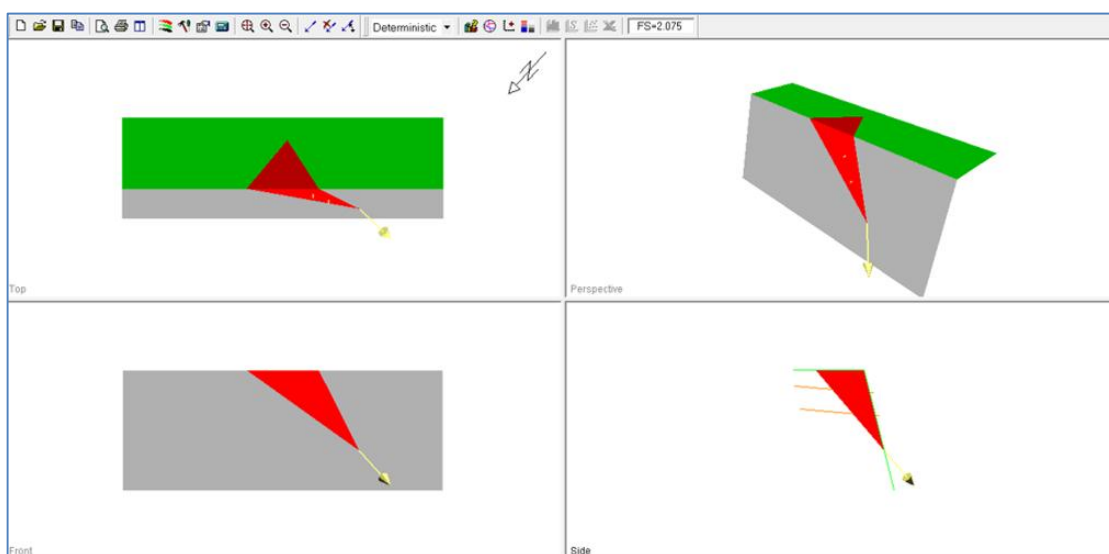


Figura 19. Análisis de falla por cuña condiciones estáticas (Fam 1 y 4).



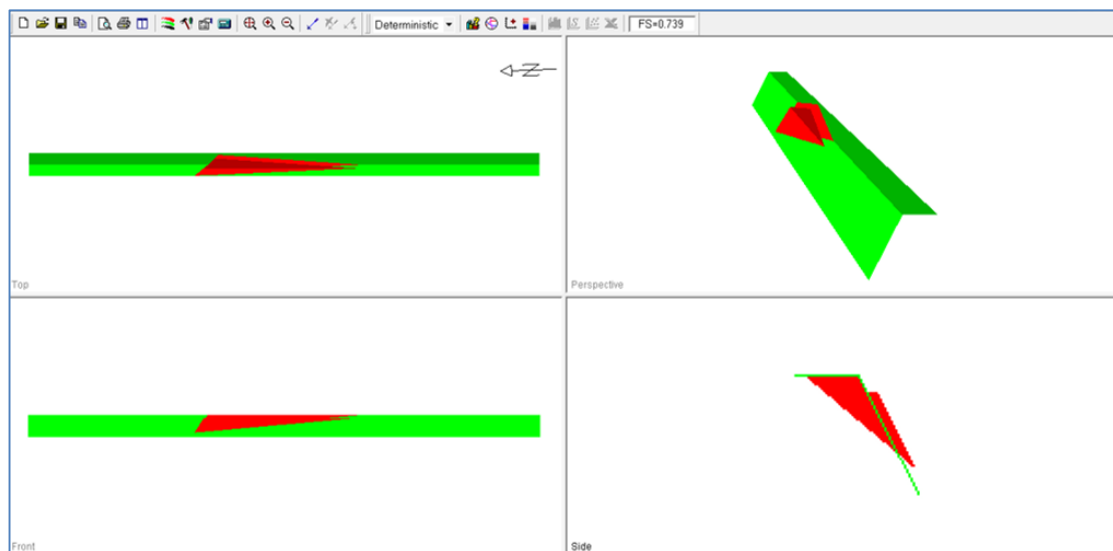
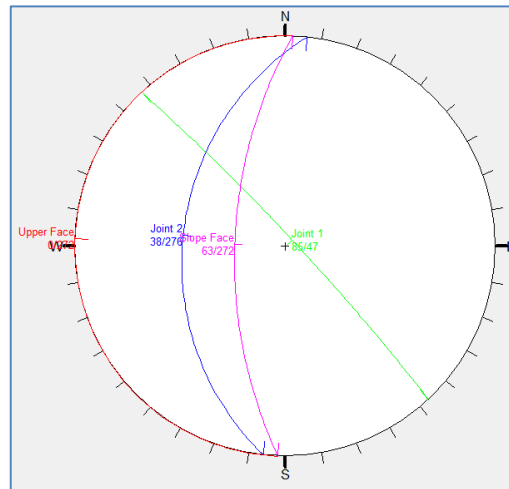
**Figura 20.** Análisis de falla por cuña condiciones pseudoestáticas.



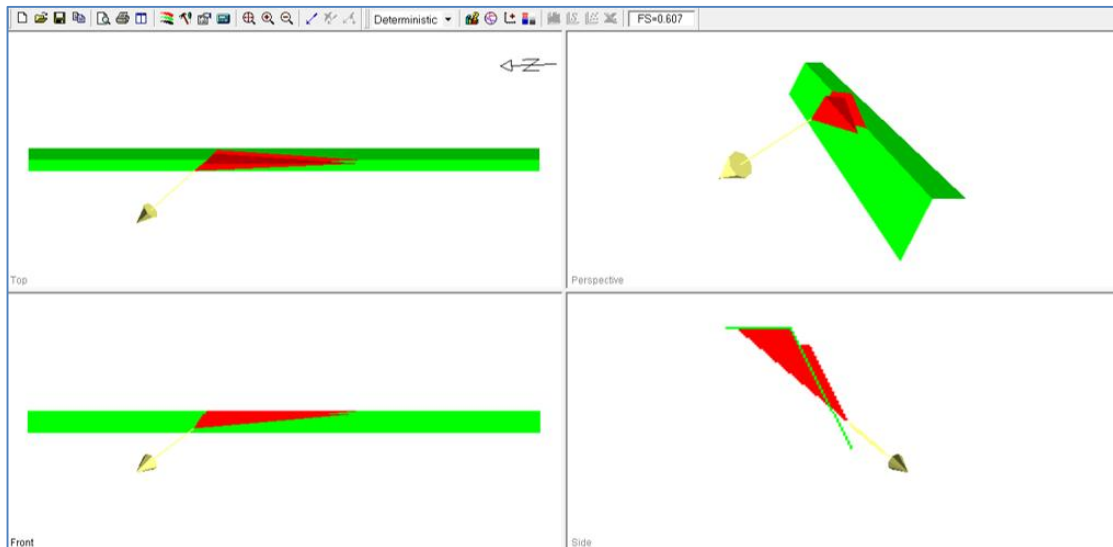
**Figura 21.** Análisis de falla por cuña condiciones pseudoestáticas aplicando pernos y Shotcrete de 3 pulg.



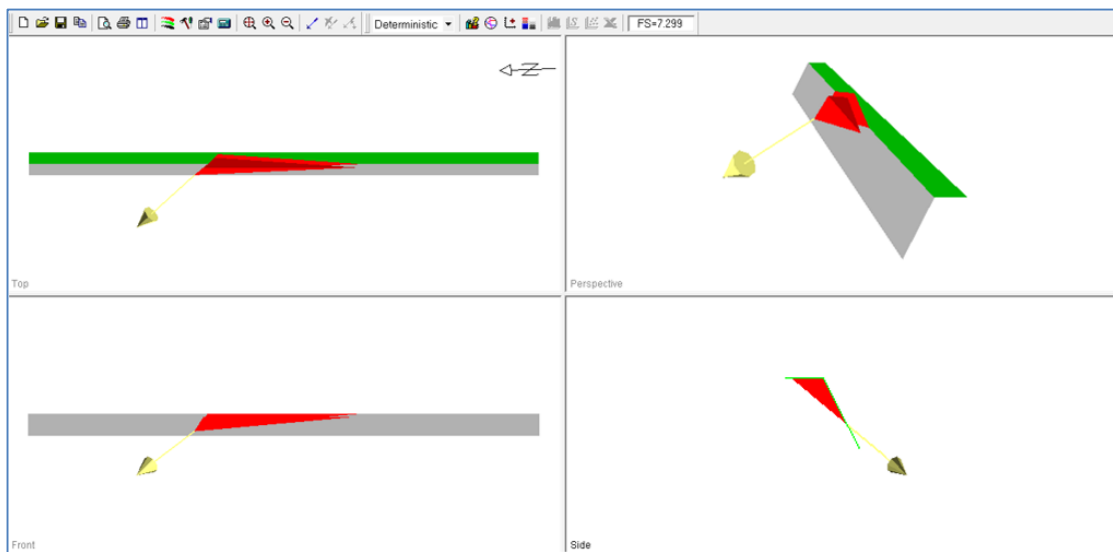
**h. Aliviadero (Sección 2-2) – Talud izquierdo (63°) – Fam 1 y 3**



**Figura 22.** Análisis de falla por cuña condiciones estáticas (Fam 1 y 3).

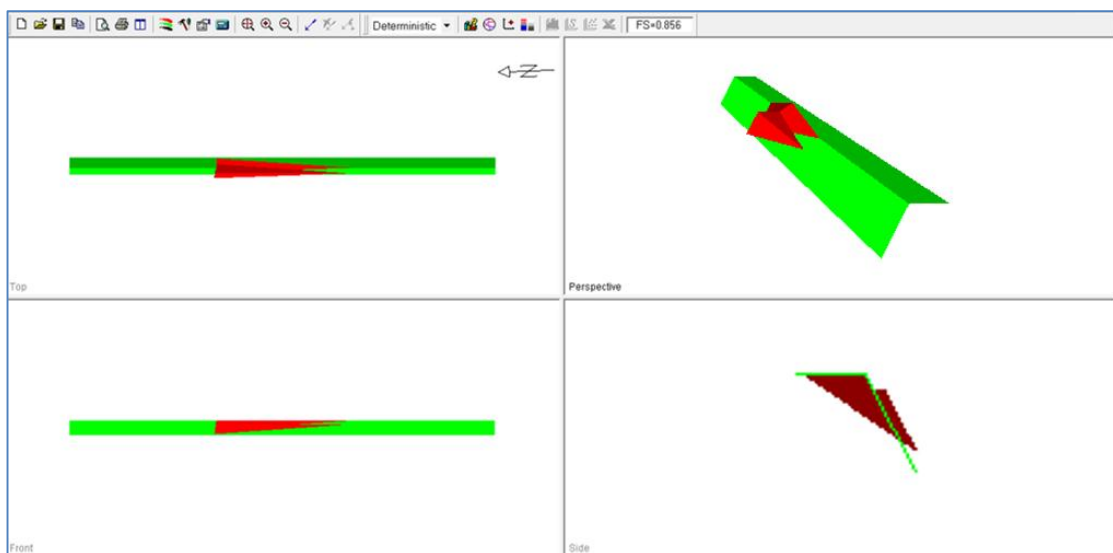
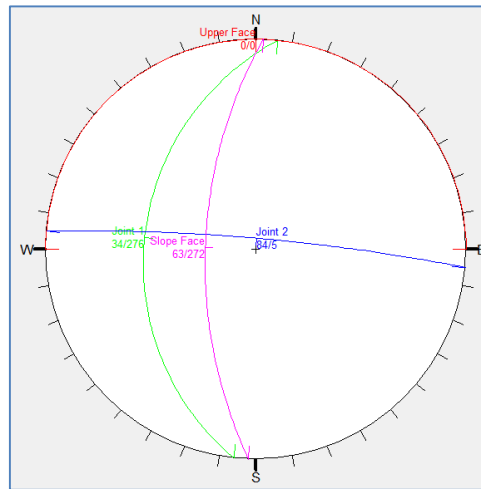


**Figura 23.** Análisis de falla por cuña condiciones pseudoestáticas.

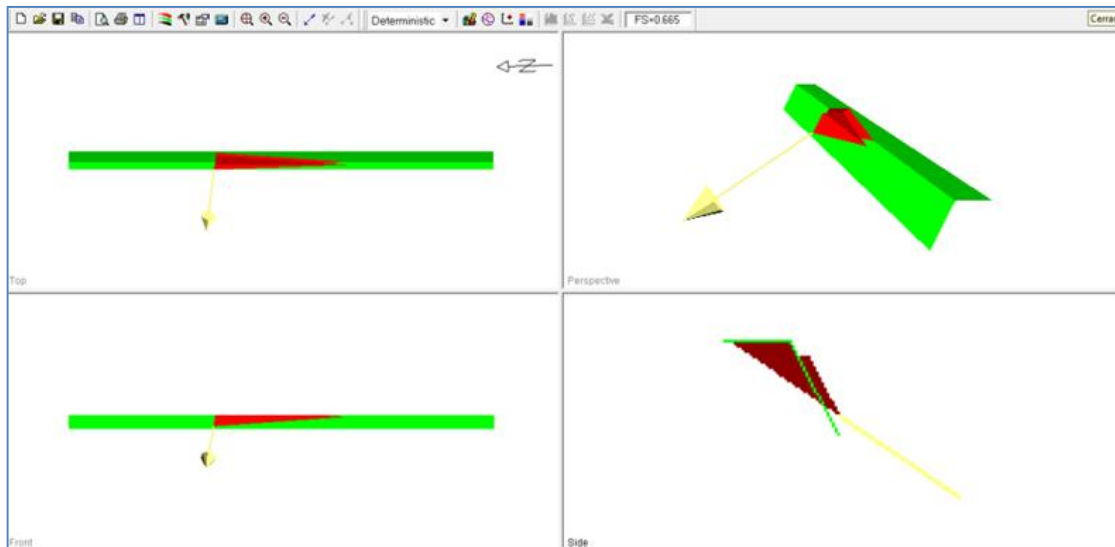


**Figura 24.** Análisis de falla por cuña condiciones pseudoestáticas aplicando Shotcrete de 3 pulg.

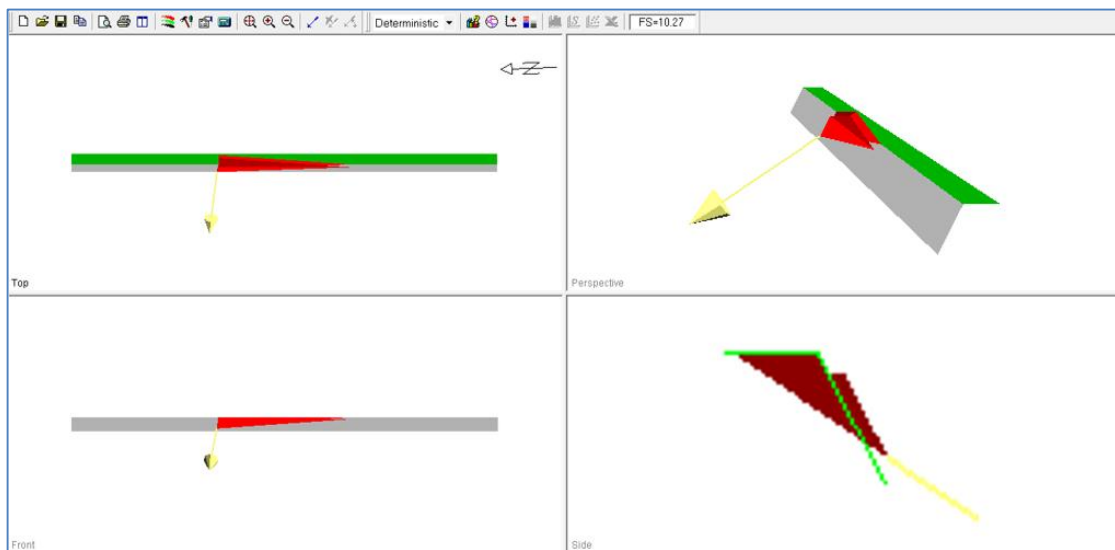
i. Aliviadero (Sección 3-3) – Talud izquierdo (76°) – Fam 1 y 2



**Figura 25.** Análisis de falla por cuña condiciones estáticas (Fam 1 y 2).



**Figura 26.** Análisis de falla por cuña condiciones pseudoestáticas.



**Figura 27.** Análisis de falla por cuña condiciones pseudoestáticas aplicando Shotcrete de 3 pulg.

j. Aliviadero (Sección 3-3) – Talud izquierdo (76°) – Fam 1 y 4

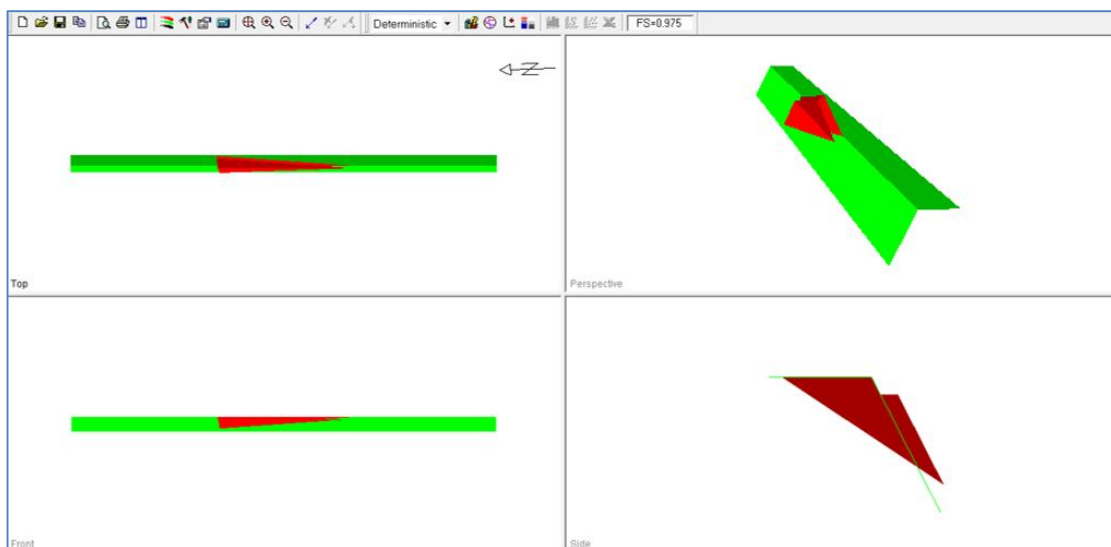
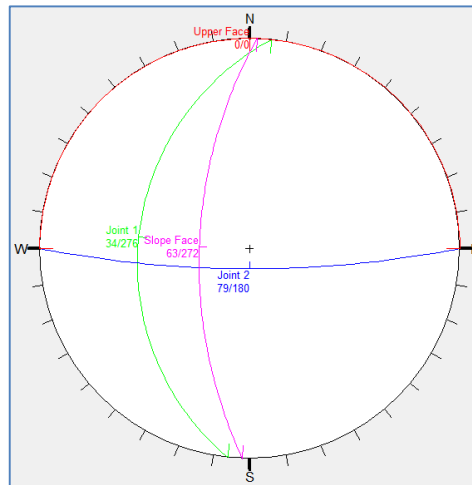
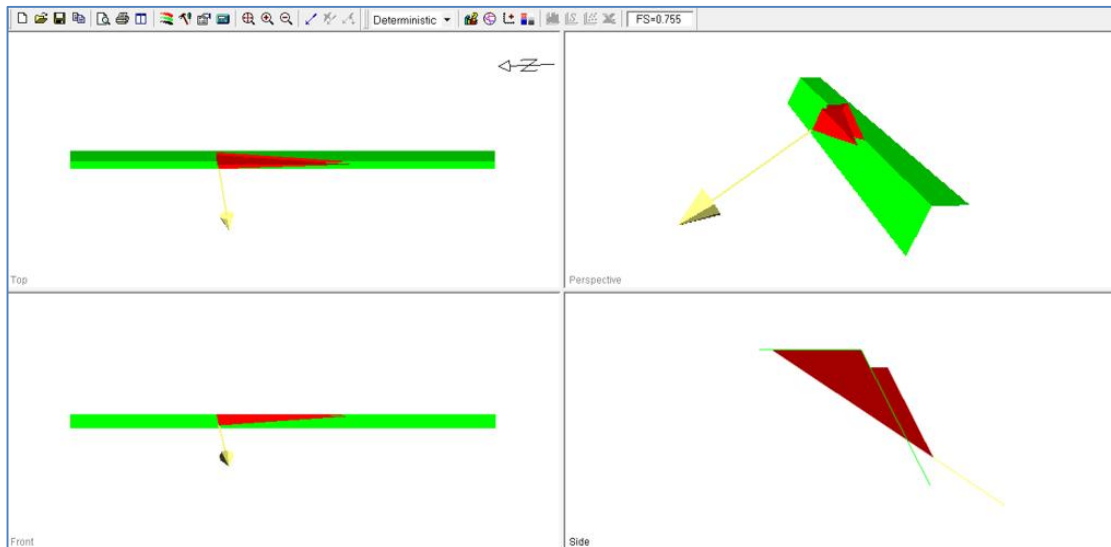
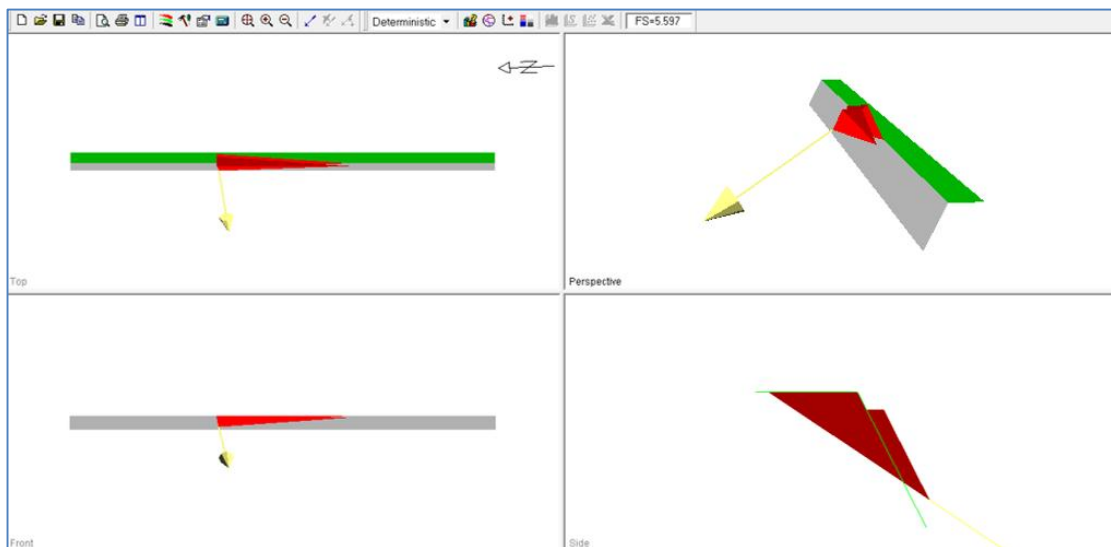


Figura 28. Análisis de falla por cuña condiciones estáticas (Fam 1 y 4).

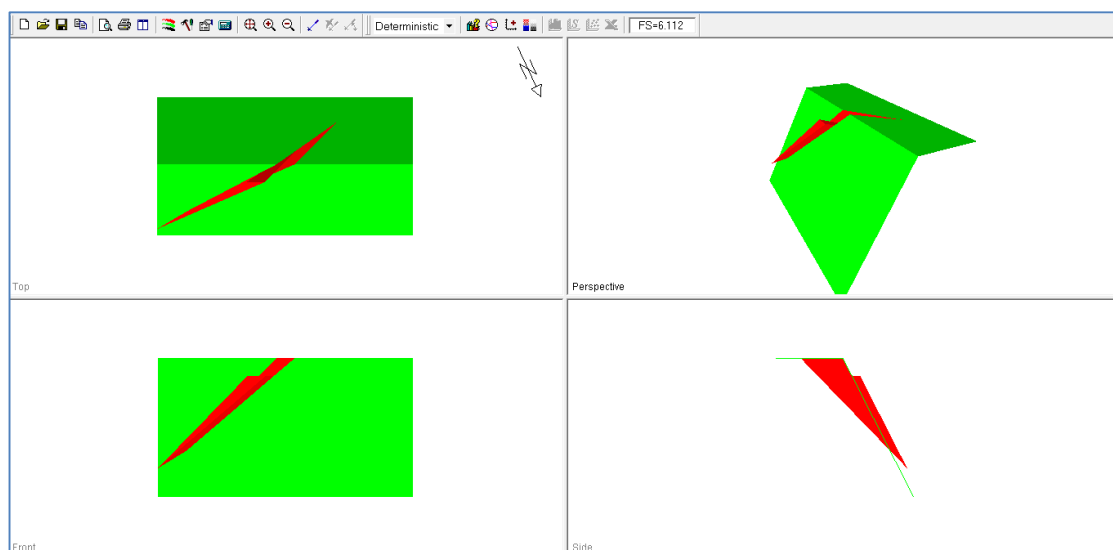
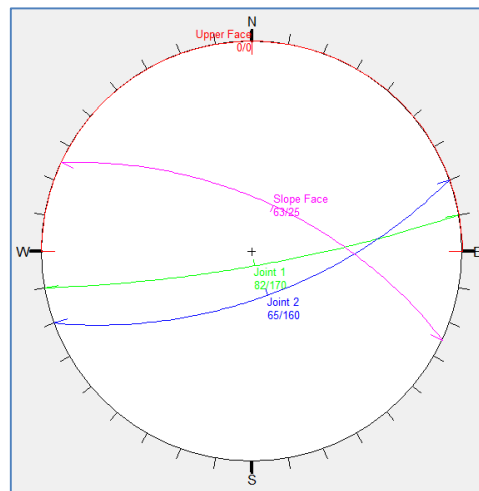


**Figura 29.** Análisis de falla por cuña condiciones pseudoestáticas.

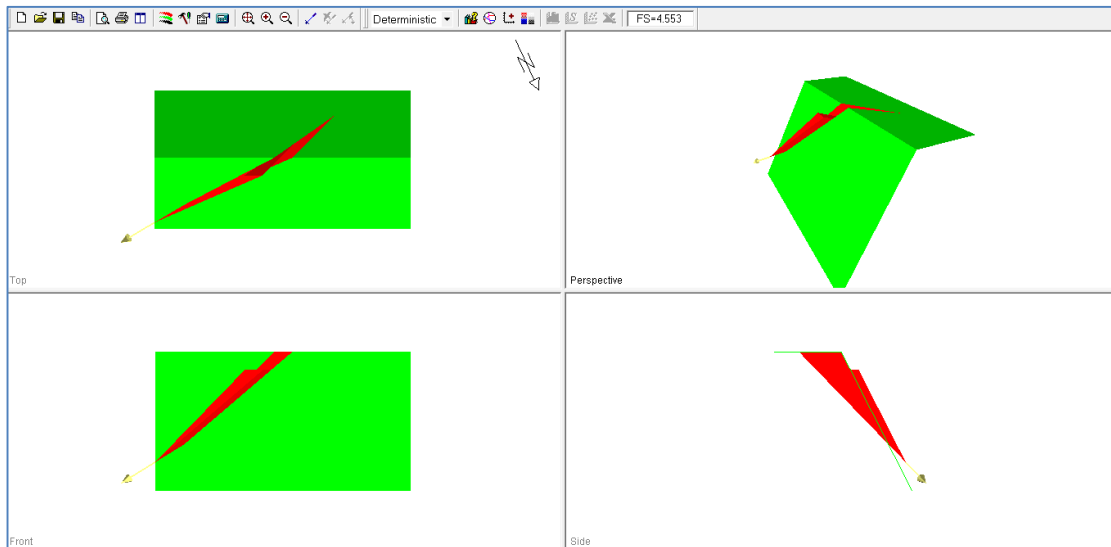


**Figura 30.** Análisis de falla por cuña condiciones pseudoestáticas y Shotcrete de 3 pulg.

k. Aliviadero (Sección 4-4) – Talud derecho (76°) – Fam 3y4

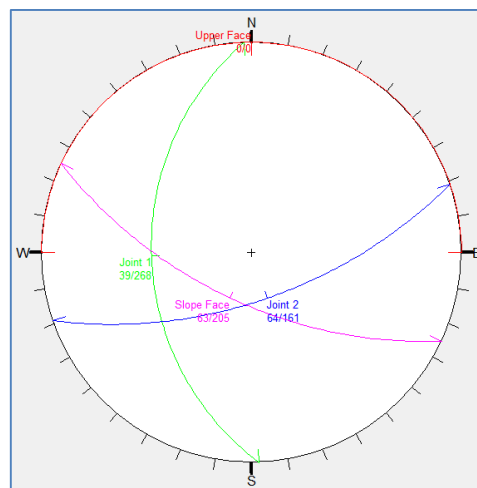


**Figura 31.** Análisis de falla por cuña condiciones estáticas (Fam 3 y 4).

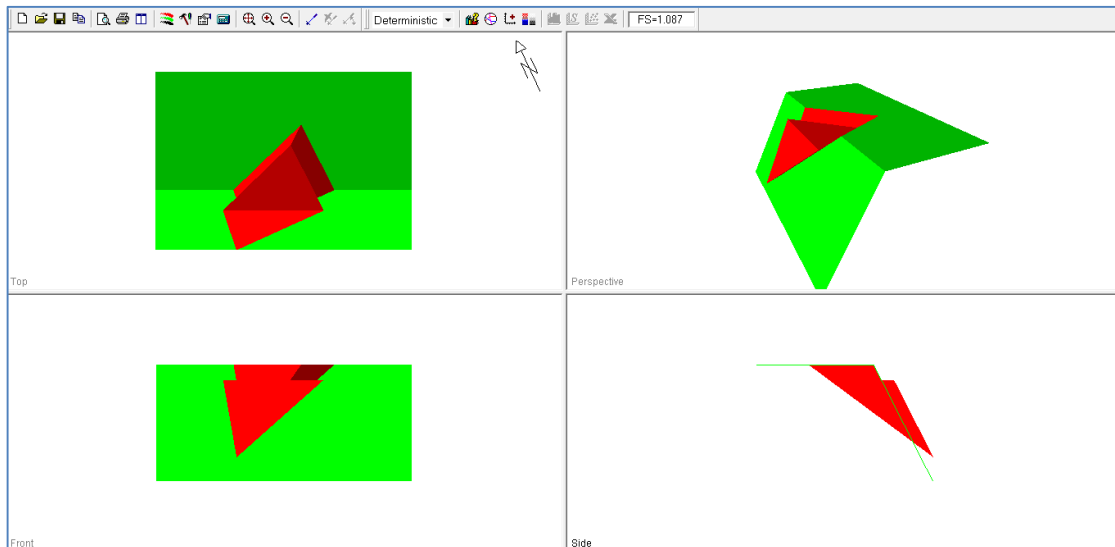


**Figura 32.** Análisis de falla por cuña condiciones pseudoestáticas.

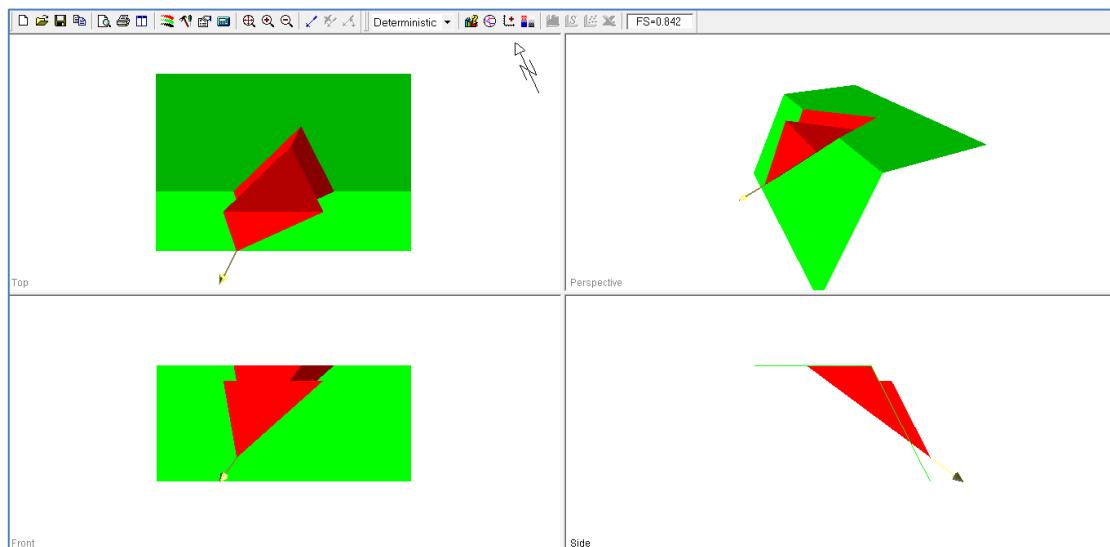
**I. Aliviadero (Sección 6-6) – Talud izquierdo (63°) – Fam 1 y 5**



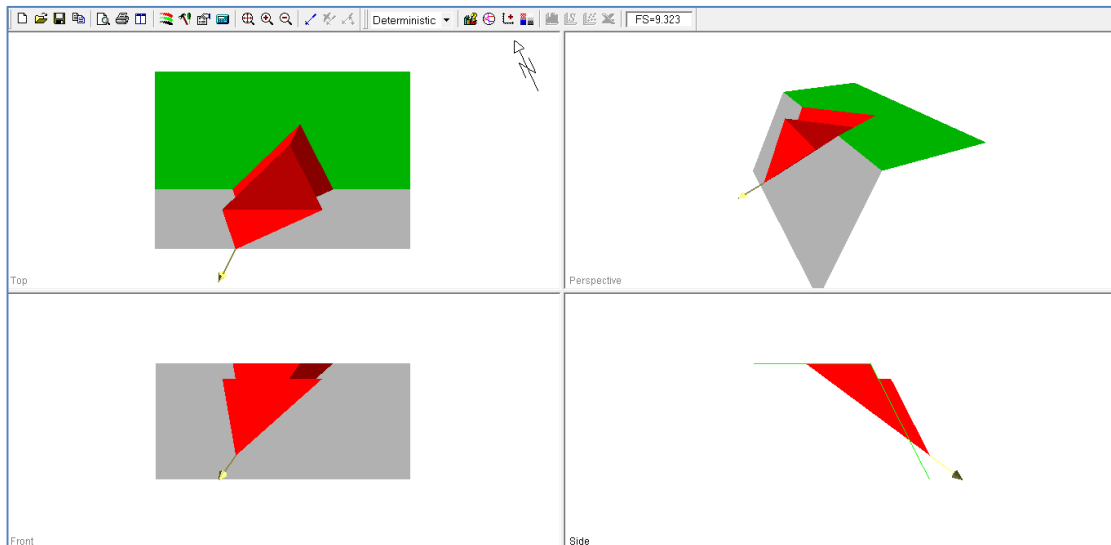




**Figura 33.** Análisis de falla por cuña condiciones estáticas (Fam 1 y 5).



**Figura 34.** Análisis de falla por cuña condiciones pseudoestáticas.



**Figura 35.** Análisis de falla por cuña condiciones pseudoestáticas y aplicando Shotcrete de 3 pulg.

1.3. ANEXO A.3: ANÁLISIS FALLA POR PLANAR

a. Túnel – Portal de Entrada – Talud Frontal (63°) – Fam 1

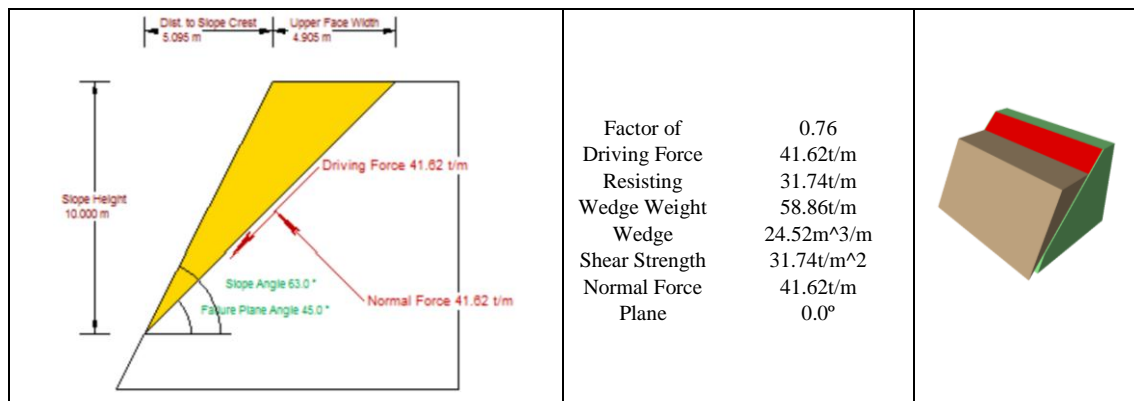


Figura 1. Análisis de falla planar en condiciones estáticas.

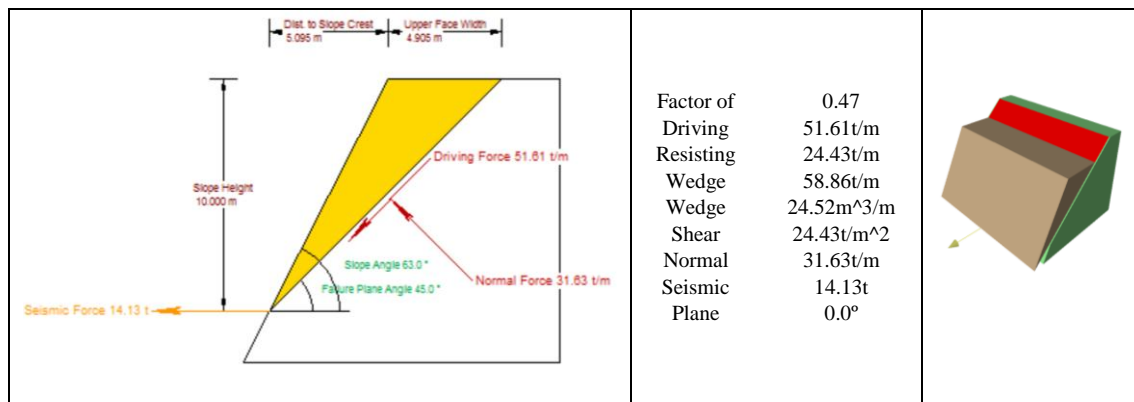


Figura 2. Análisis de falla planar en condiciones pseudoestáticas.

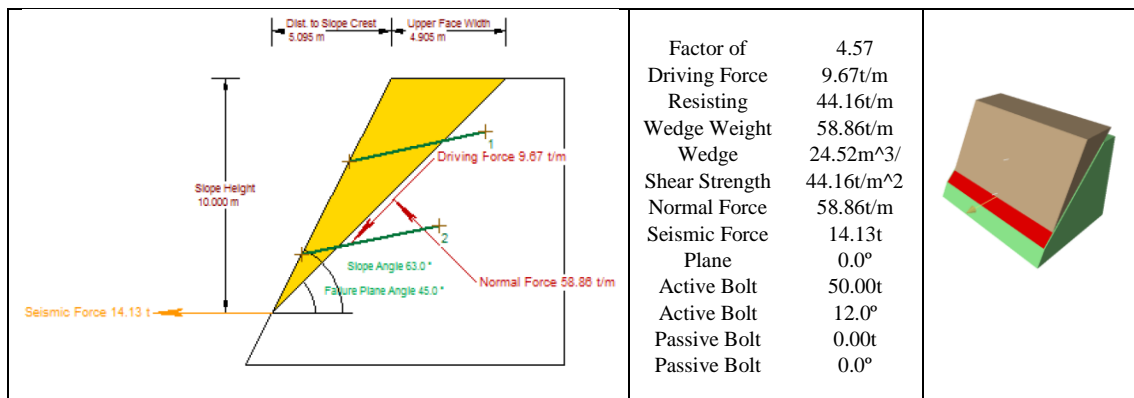
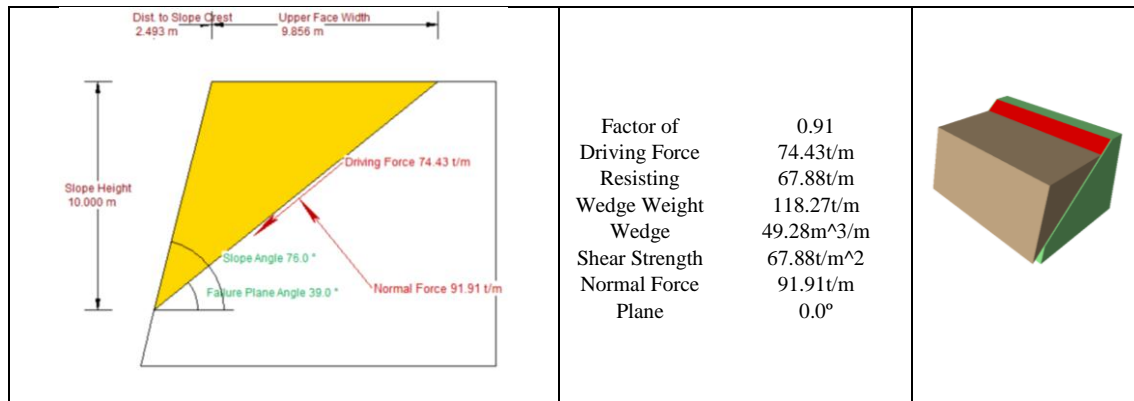


Figura 3. Análisis de falla planar en condiciones pseudoestáticas con perno.

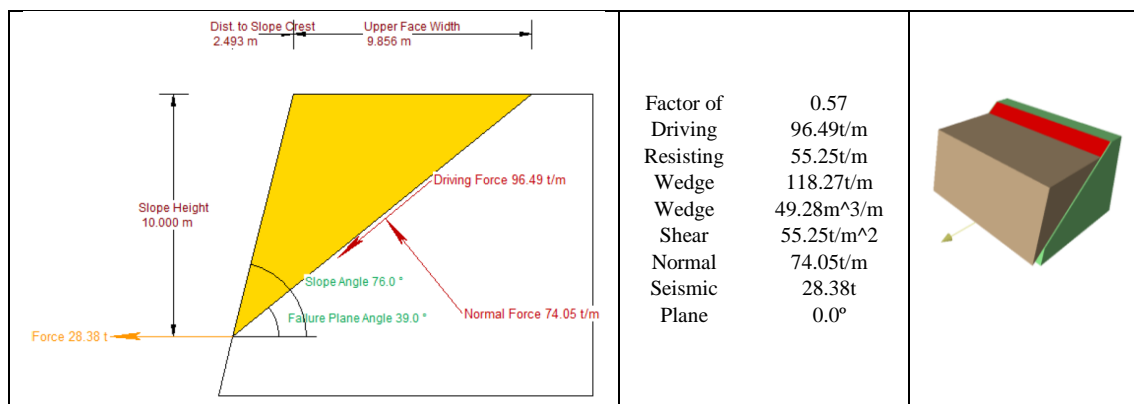
Bolt Properties

#	Angle	Capacity	Length	AnchLengt h
1	12.0°	25.00t/m	6.000 m	1.894 m
2	12.0°	25.00t/m	6.000 m	4.439 m

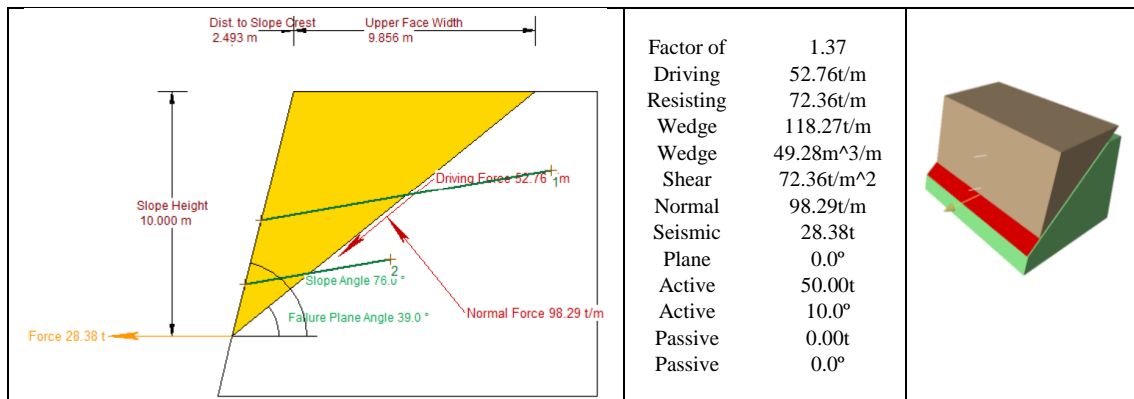
**b. Túnel – Portal de Salida – Talud Frontal (79°) – Fam 1**



**Figura 4.** Análisis de falla planar en condiciones estáticas.



**Figura 5.** Análisis de falla planar en condiciones pseudoestáticas.

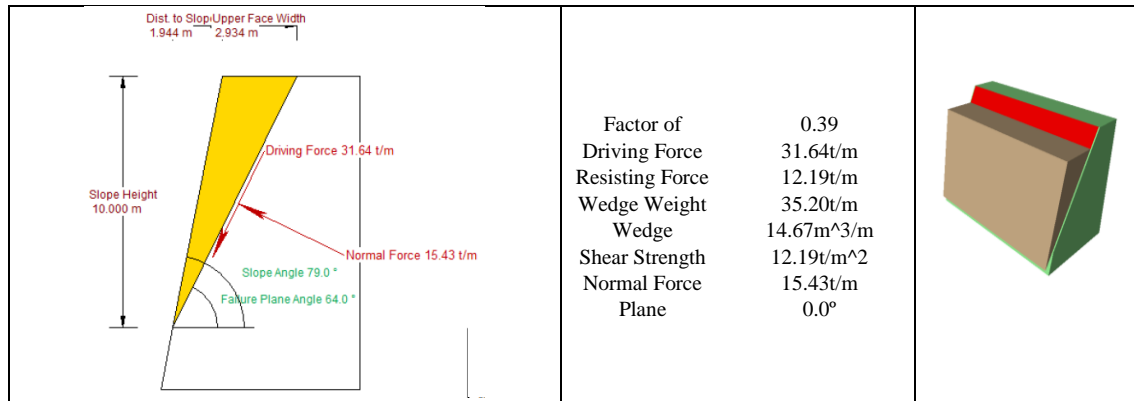


**Figura 6.** Análisis de falla planar en condiciones pseudoestáticas con pernos.

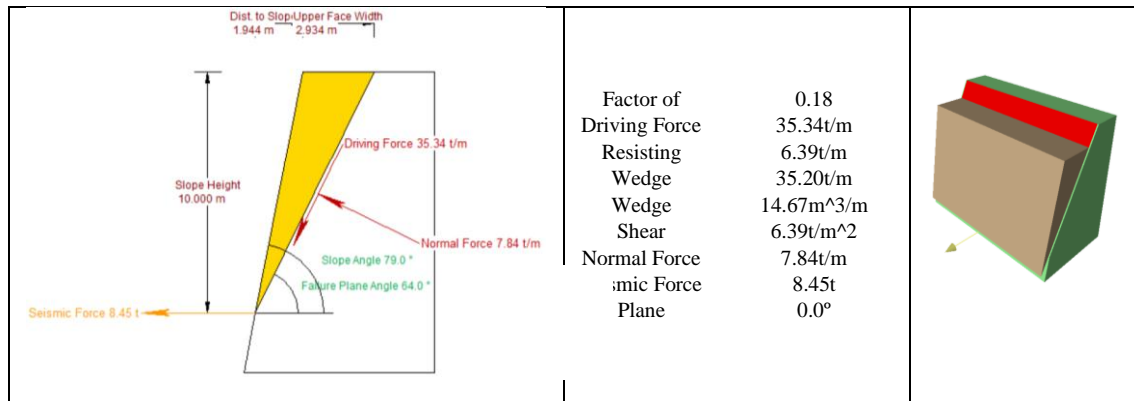
*Bolt Properties*

#	Angle	Capacity	Length	AnchLength
1	10.0°	25.00t/m	12.000 m	5.971 m
2	10.0°	25.00t/m	6.000 m	3.326 m

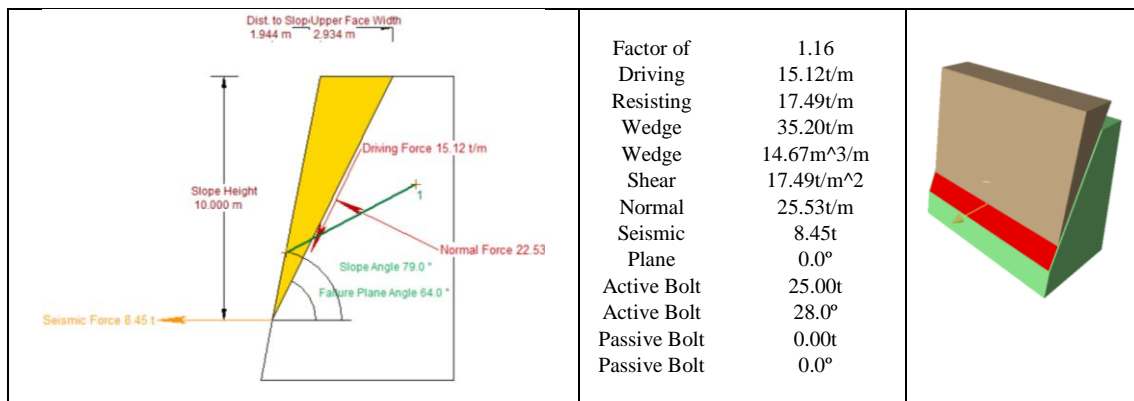
**c. Túnel – Portal de Salida – Talud Derecho (79°) – Fam 5**



**Figura 7.** Análisis de falla planar en condiciones estáticas.



**Figura 8.** Análisis de falla planar en condiciones pseudoestáticas.

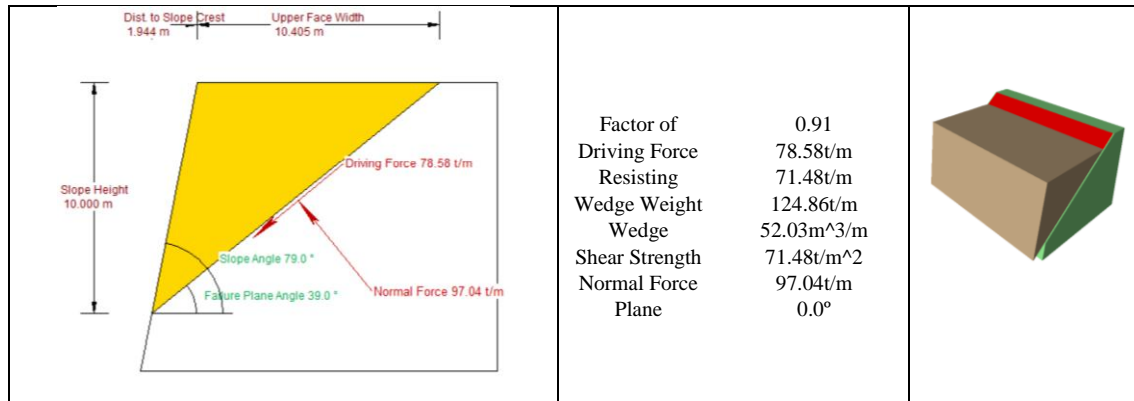


**Figura 9.** Análisis de falla planar en condiciones pseudoestáticas con pernos.

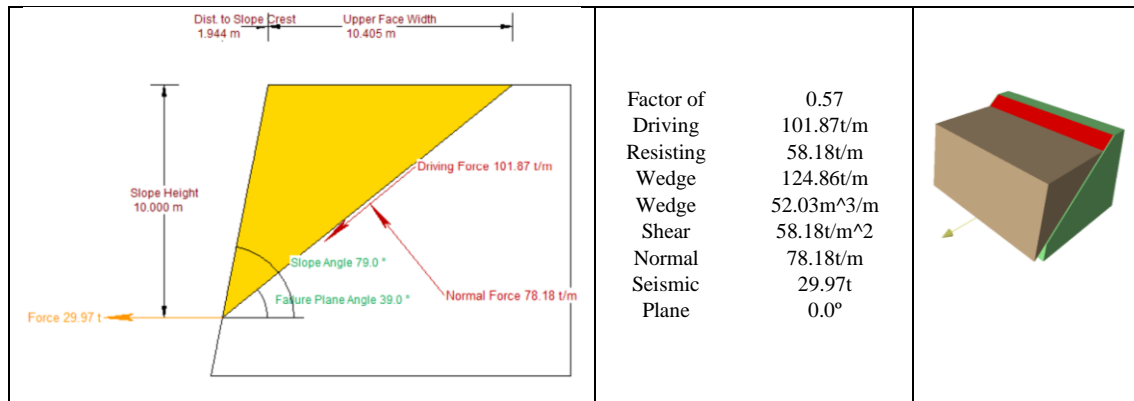
*Bolt Properties*

#	Angle	Capacity	Length	AnchLength
1	28.0°	25.00t/m	6.000 m	4.757 m

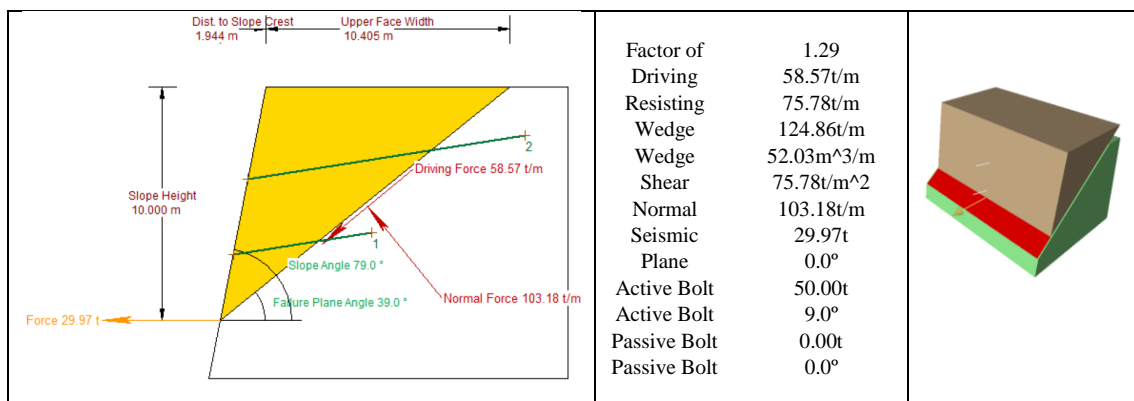
**d. Túnel – Portal de Salida – Talud Izquierdo (79°) – Fam 1**



**Figura 10.** Análisis de falla planar en condiciones estáticas.



**Figura 11.** Análisis de falla planar en condiciones pseudoestáticas.



**Figura 12.** Análisis de falla planar en condiciones pseudoestáticas con pernos.

*Bolt Properties*

#	Angle	Capacity	Length	AnchLength
1	9.0°	25.00t/m	6.000 m	2.297 m
2	9.0°	25.00t/m	12.000 m	4.086 m

e. Aliviadero – Sección 2-2 – Talud Izquierdo (63°) – Fam 3

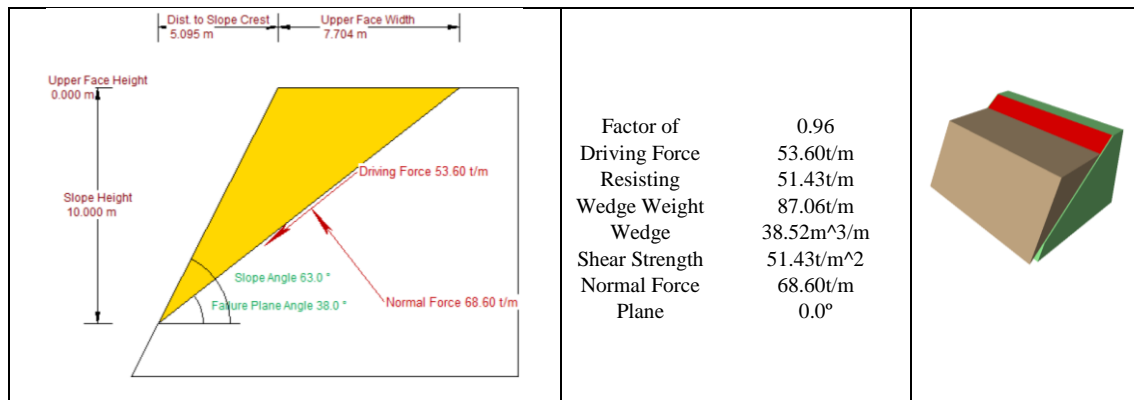


Figura 13. Análisis de falla planar en condiciones estáticas.

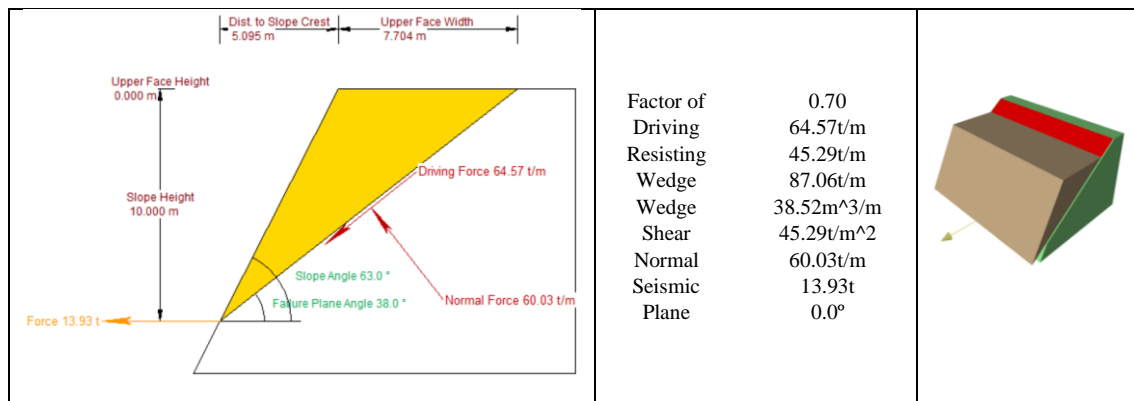


Figura 14. Análisis de falla planar en condiciones pseudoestáticas.

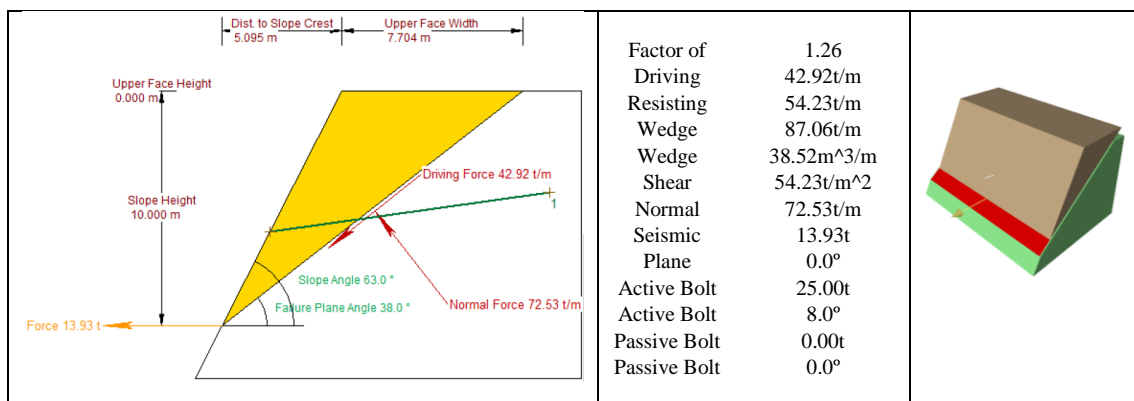
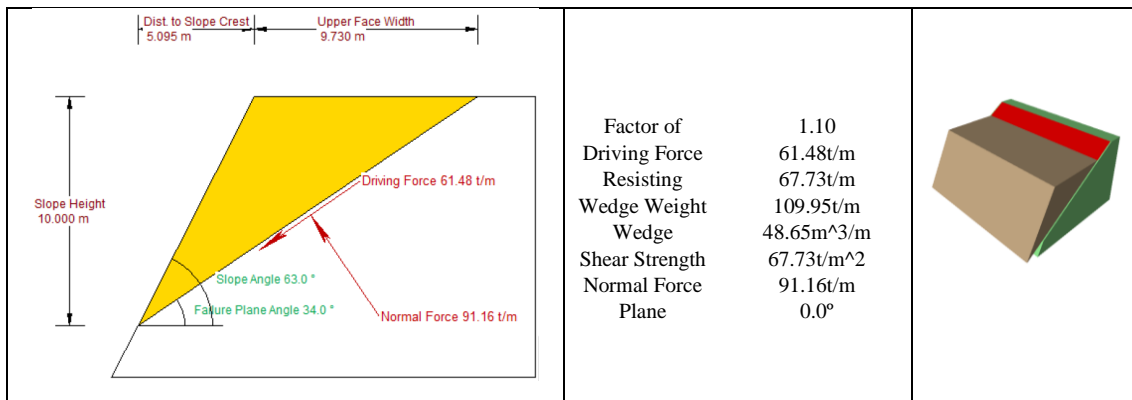


Figura 15. Análisis de falla planar en condiciones pseudoestáticas con pernos.

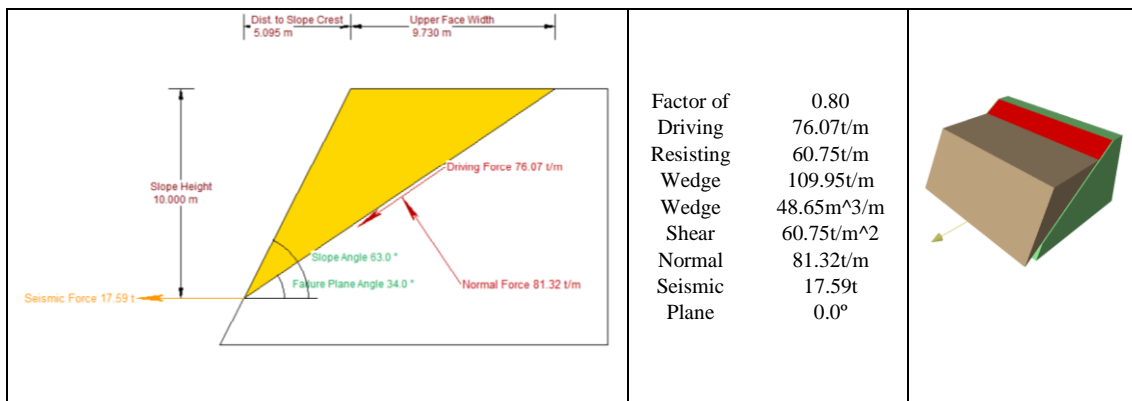
Bolt Properties

#	Angle	Capacity	Length	AnchLength
1	8.0°	25.00t/m	12.000 m	8.196 m

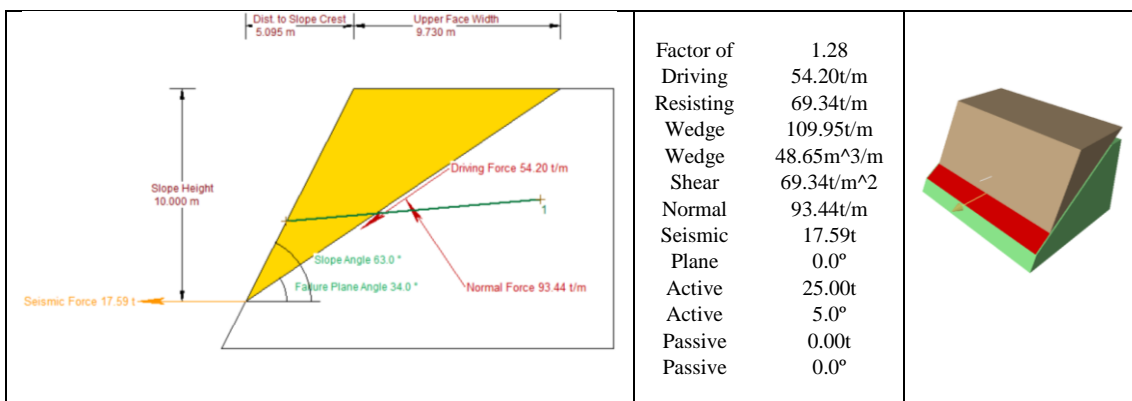
**f. Aliviadero – Sección 3-3 – Talud Izquierdo (63°) – Fam 1**



**Figura 16.** Análisis de falla planar en condiciones estáticas.



**Figura 17.** Análisis de falla planar en condiciones pseudoestáticas.



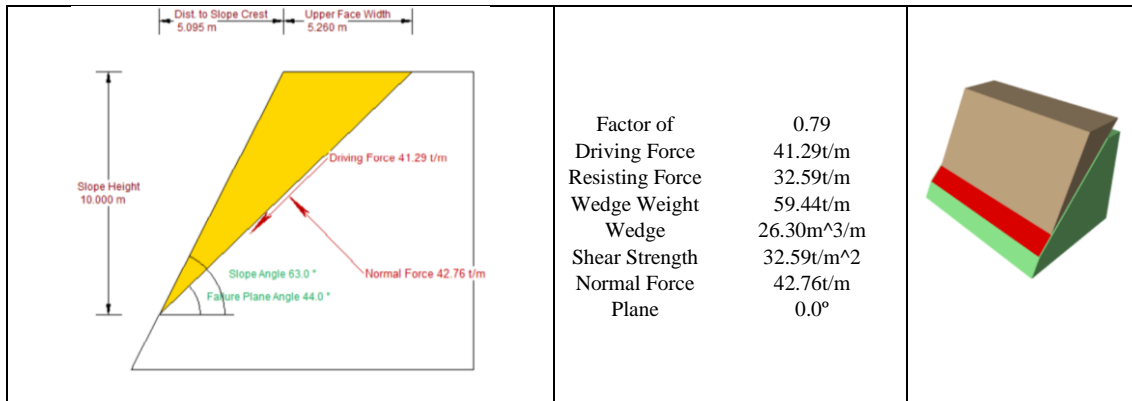
**Figura 18.** Análisis de falla planar en condiciones pseudoestáticas con pernos.

*Bolt Properties*

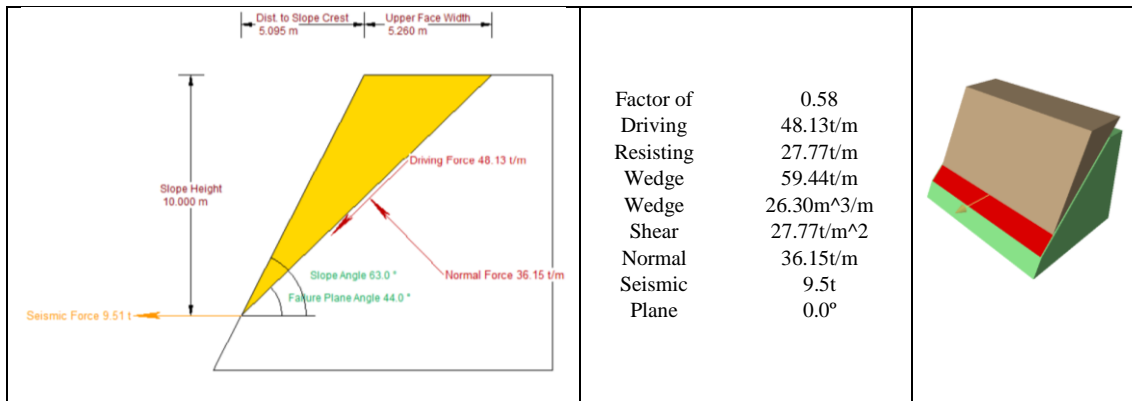
#	Angle	Capacity	Length	AnchLength
1	5.0°	25.00t/m	12.000 m	7.768 m



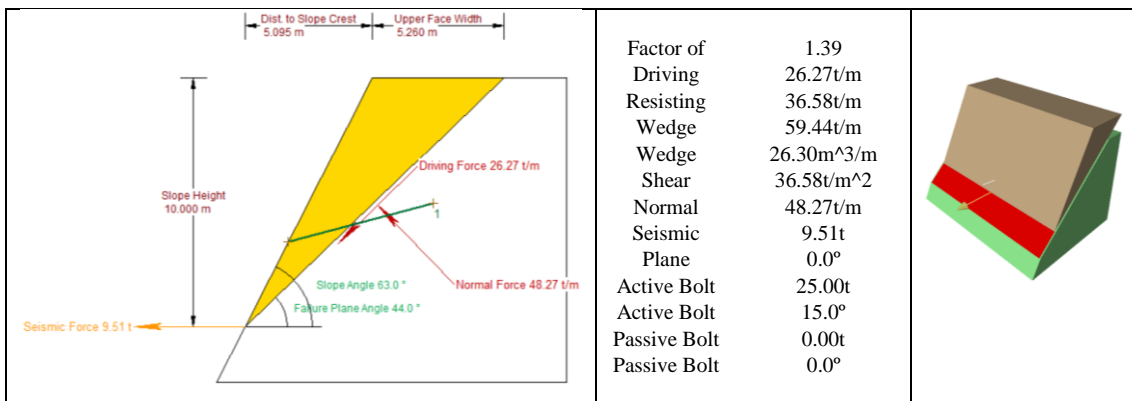
**g. Aliviadero – Sección 4-4 – Talud Derecho (63°) – Fam 1**



**Figura 19.** Análisis de falla planar en condiciones estáticas.



**Figura 20.** Análisis de falla planar en condiciones pseudoestáticas.

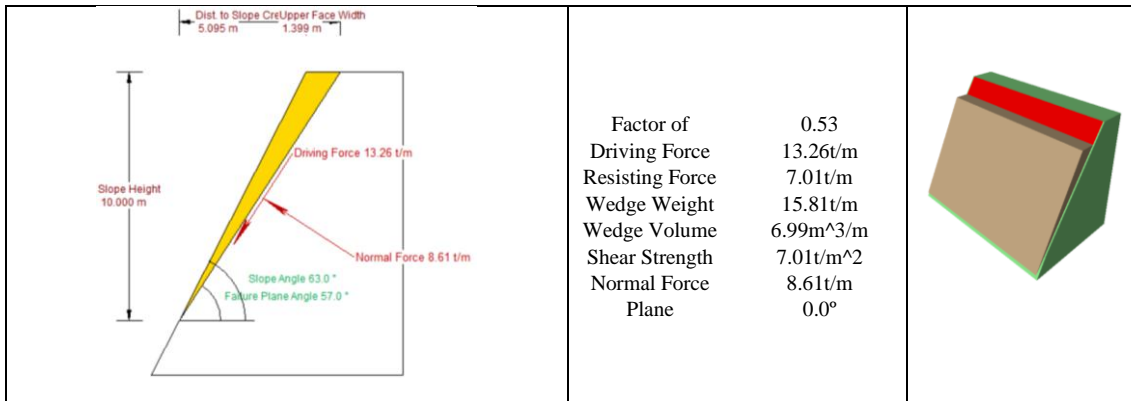


**Figura N° 21.** Análisis de falla planar en condiciones pseudoestáticas con pernos.

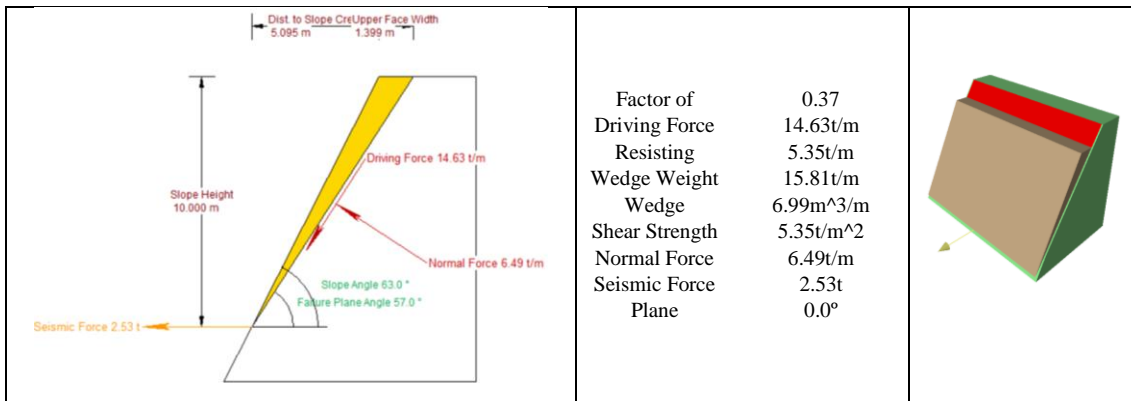
*Bolt Properties*

#	Angle	Capacity	Length	AnchLength
1	15.0°	25.00t/m	6.000 m	3.440 m

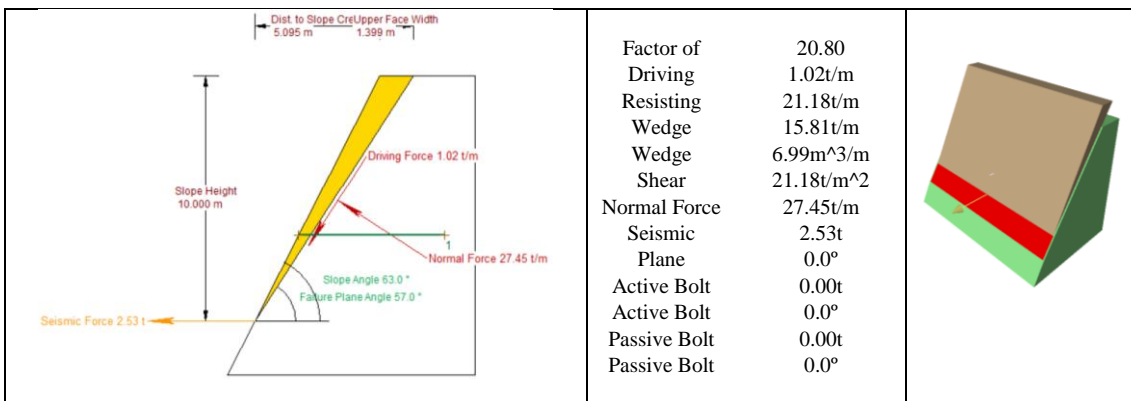
**h. Aliviadero – Sección 4-4 – Talud Derecho (63°) – Fam 2**



**Figura 22.** Análisis de falla planar en condiciones estáticas.



**Figura 23.** Análisis de falla planar en condiciones pseudoestáticas.

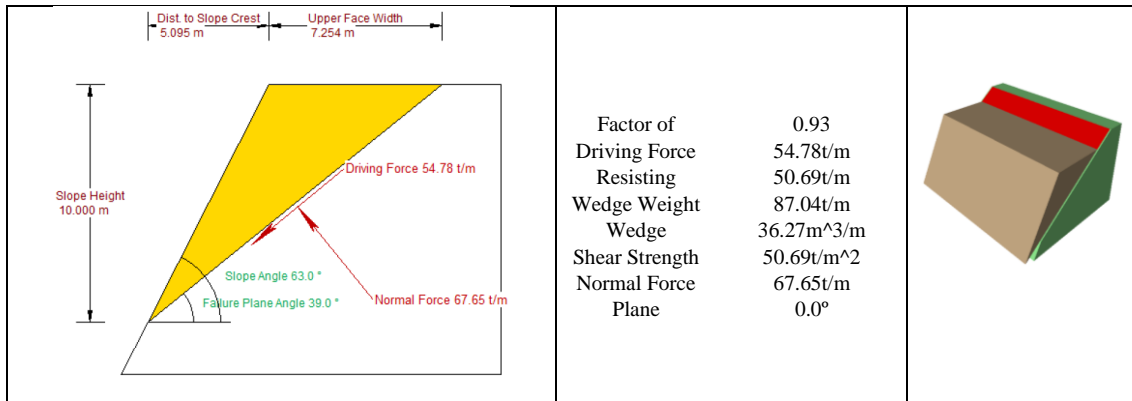


**Figura 24.** Análisis de falla planar en condiciones pseudoestáticas con pernos.

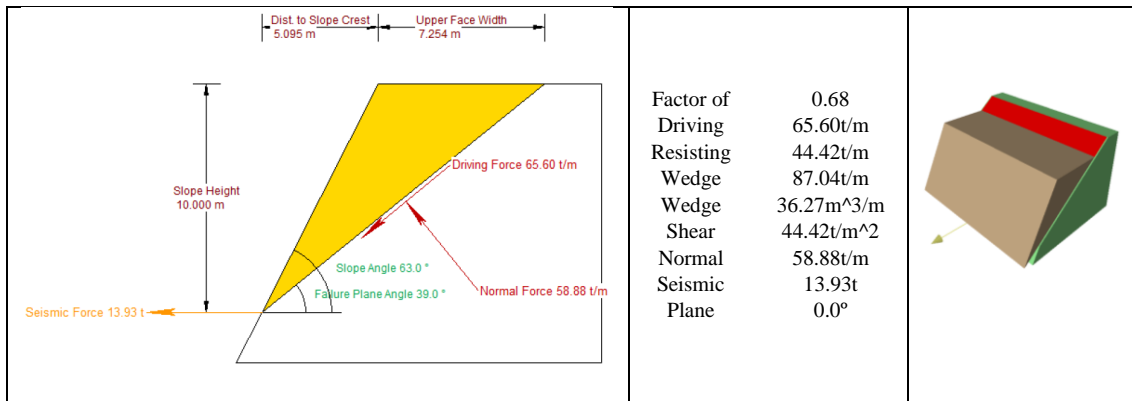
*Bolt Properties*

#	Angle	Capacity	Length	AnchLength
1	0.0°	25.00t/m	6.000 m	5.514 m

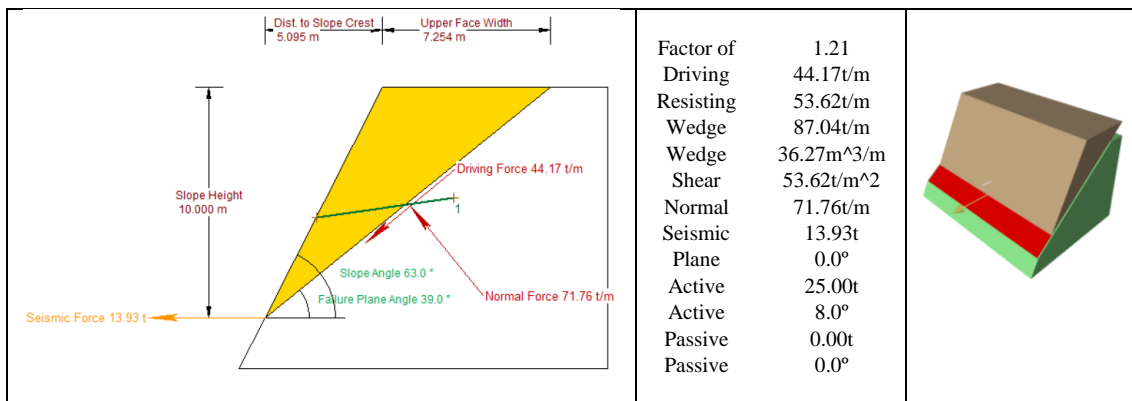
**i. Aliviadero – Sección 6-6 – Talud Izquierdo (63°) – Fam 1**



**Figura 25.** Análisis de falla planar en condiciones estáticas.



**Figura 26.** Análisis de falla planar en condiciones pseudoestáticas.



**Figura 27.** Análisis de falla planar en condiciones pseudoestáticas con perno.

*Bolt Properties*

#	Angle	Capacity	Length	AnchLength
1	8.0°	25.00t/m	6.000 m	2.153 m

1.4. ANEXO B: ANÁLISIS DE ESTABILIDAD GLOBAL

a. Túnel – Portal de entrada – Talud frontal

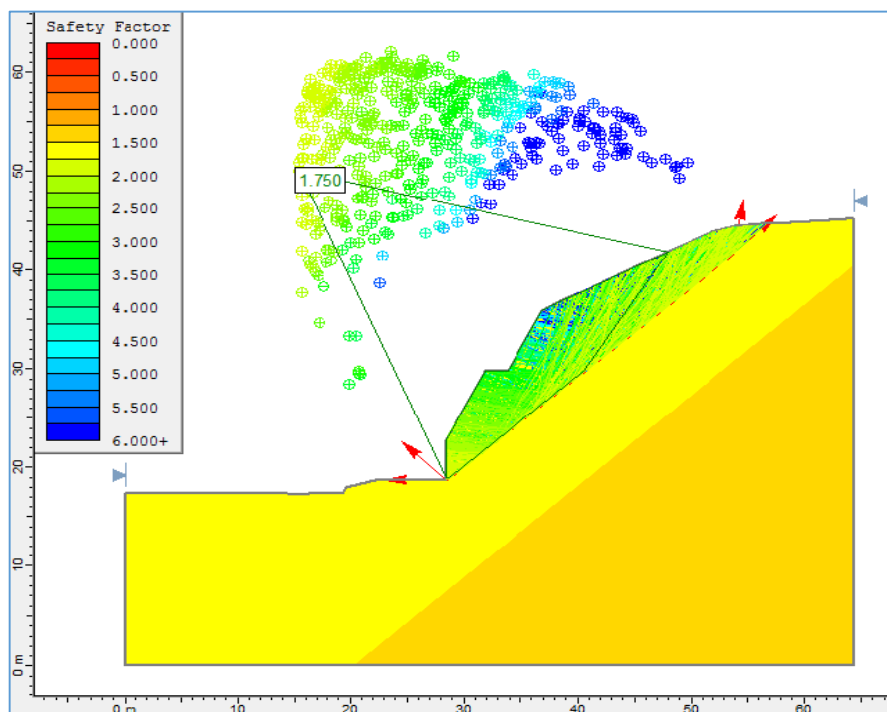


Figura 1. Análisis de estabilidad global en condiciones estáticas.

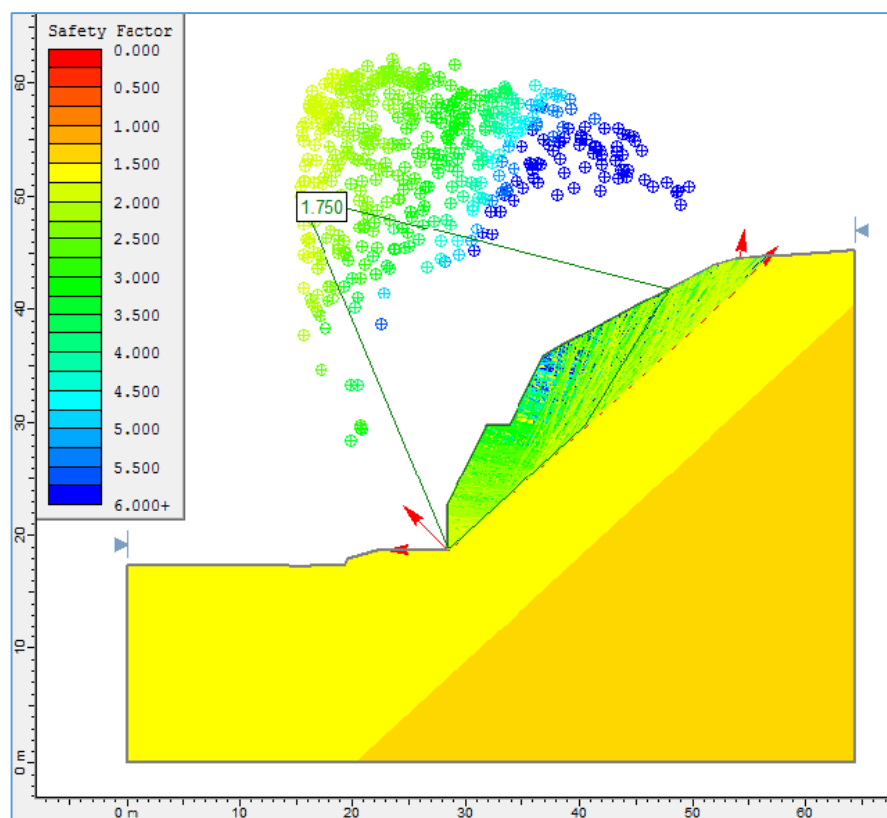
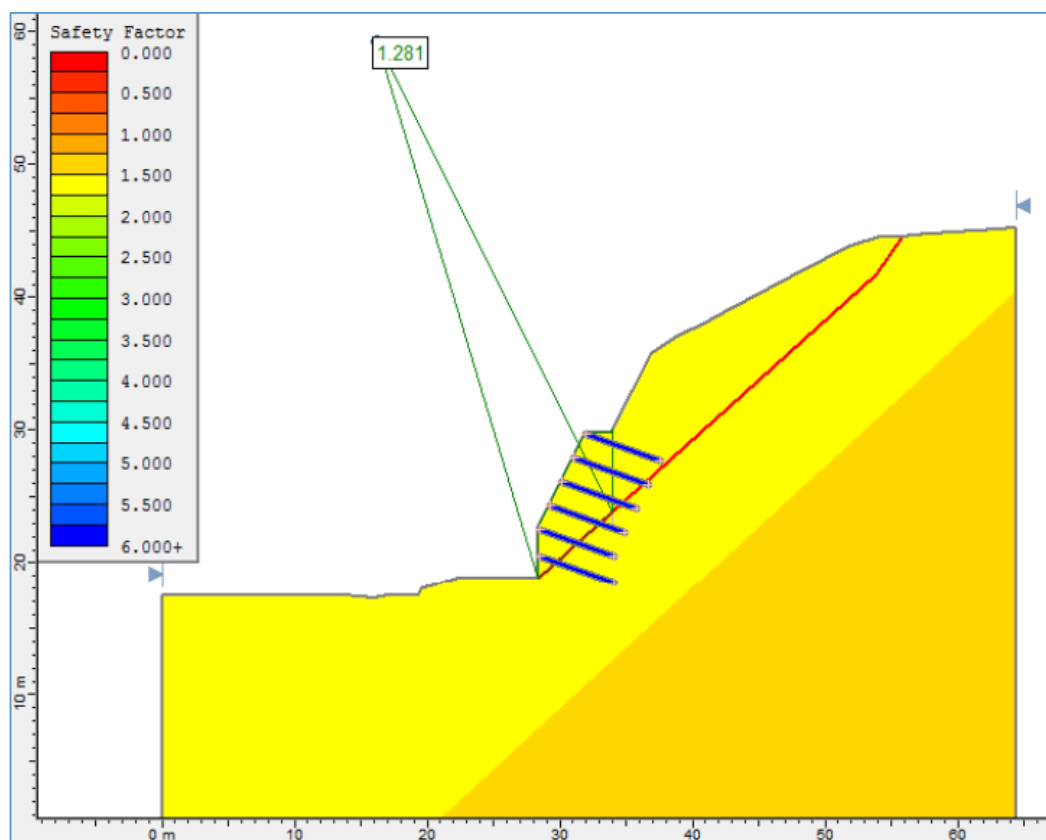
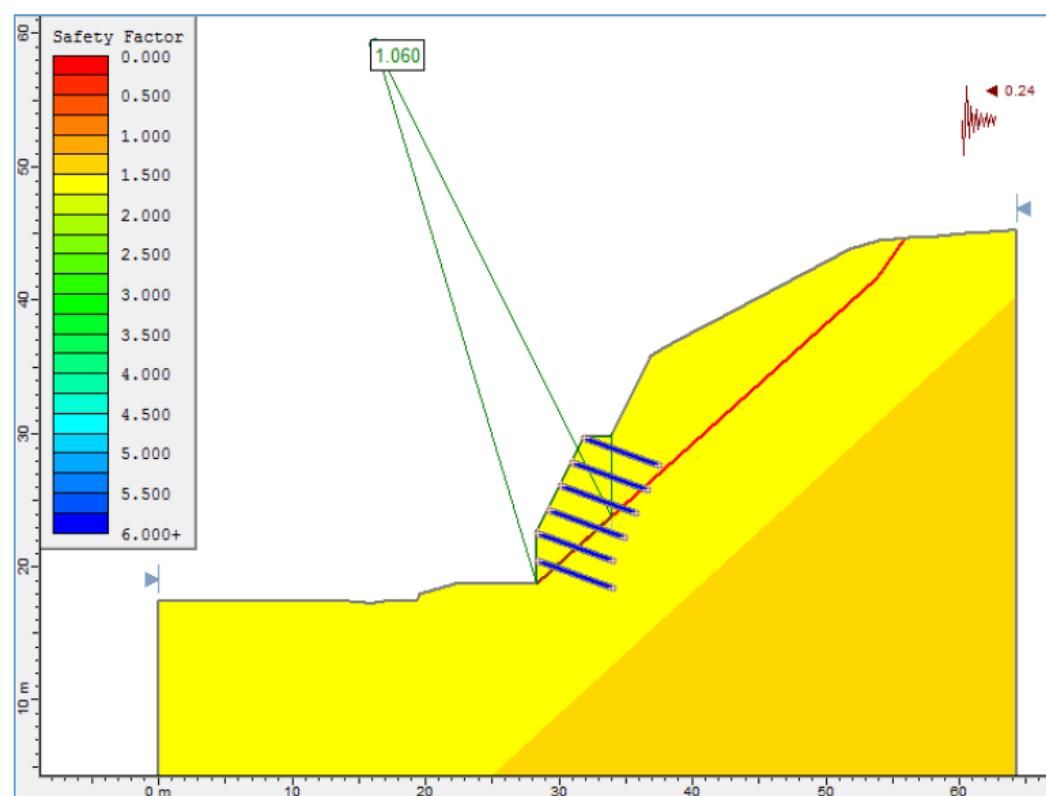


Figura 2. Análisis de estabilidad global en condiciones pseudoestáticas.



**Figura 3.** Análisis de estabilidad global considerando falla sistemática, en condiciones estáticas, con pernos de anclaje de 6 m espaciados a 2 m.



**Figura 4.** Análisis de estabilidad global, considerando falla sistemática en condiciones pseudoestáticas, con pernos de anclaje de 6 m espaciados a 2 m.

b. Túnel – Portal de entrada – Talud lateral derecho

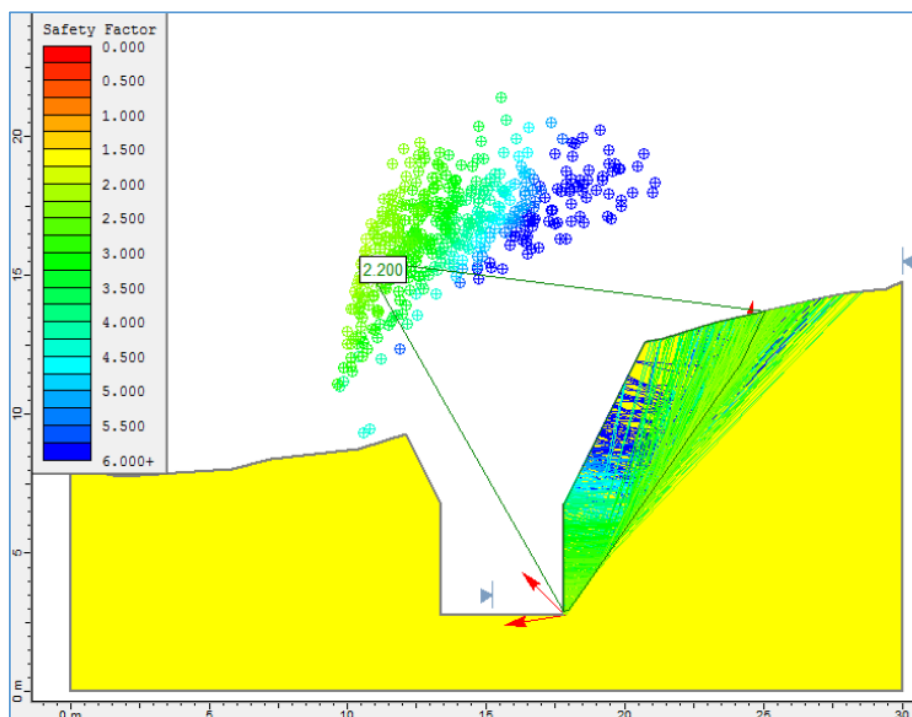


Figura 5. Análisis de estabilidad global en condiciones estáticas.

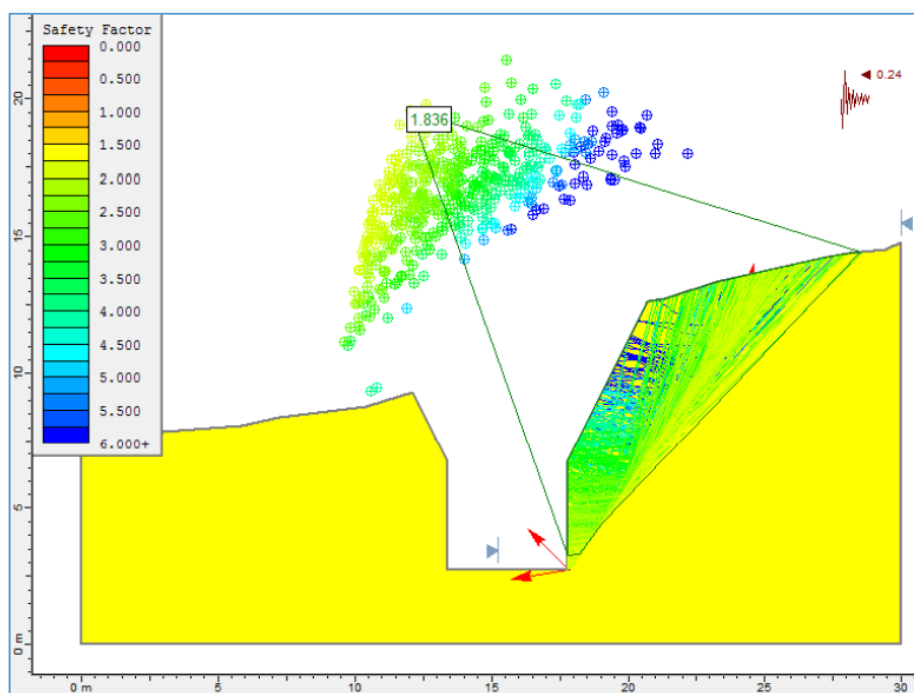
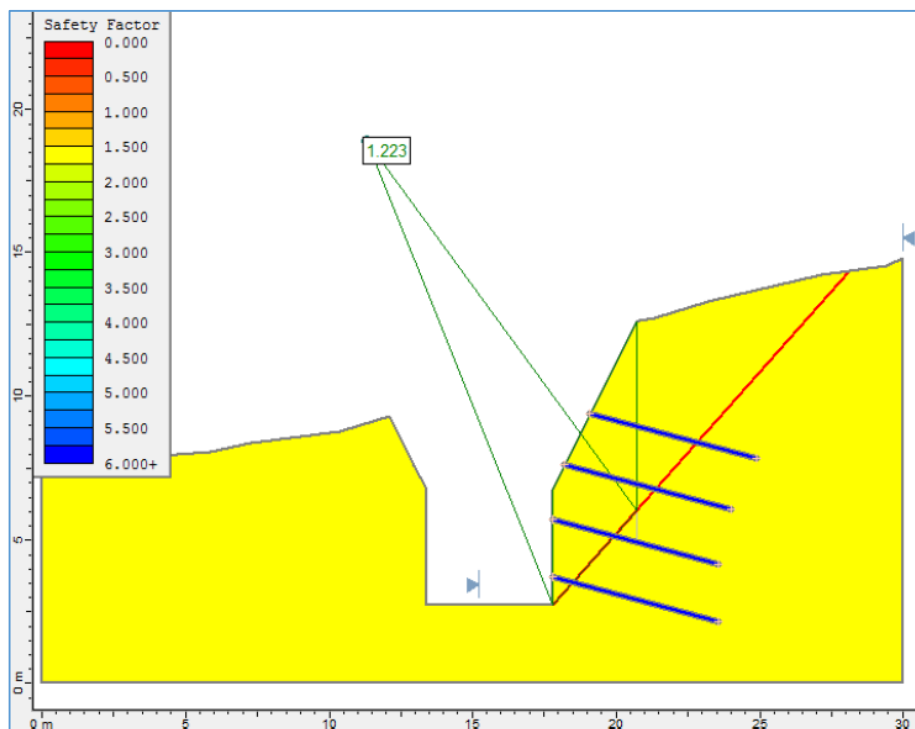
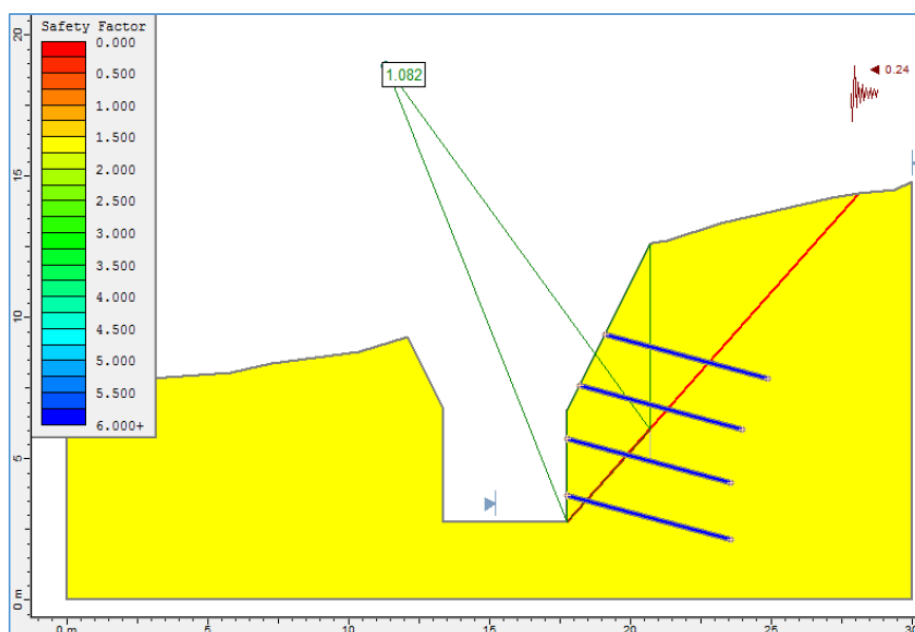


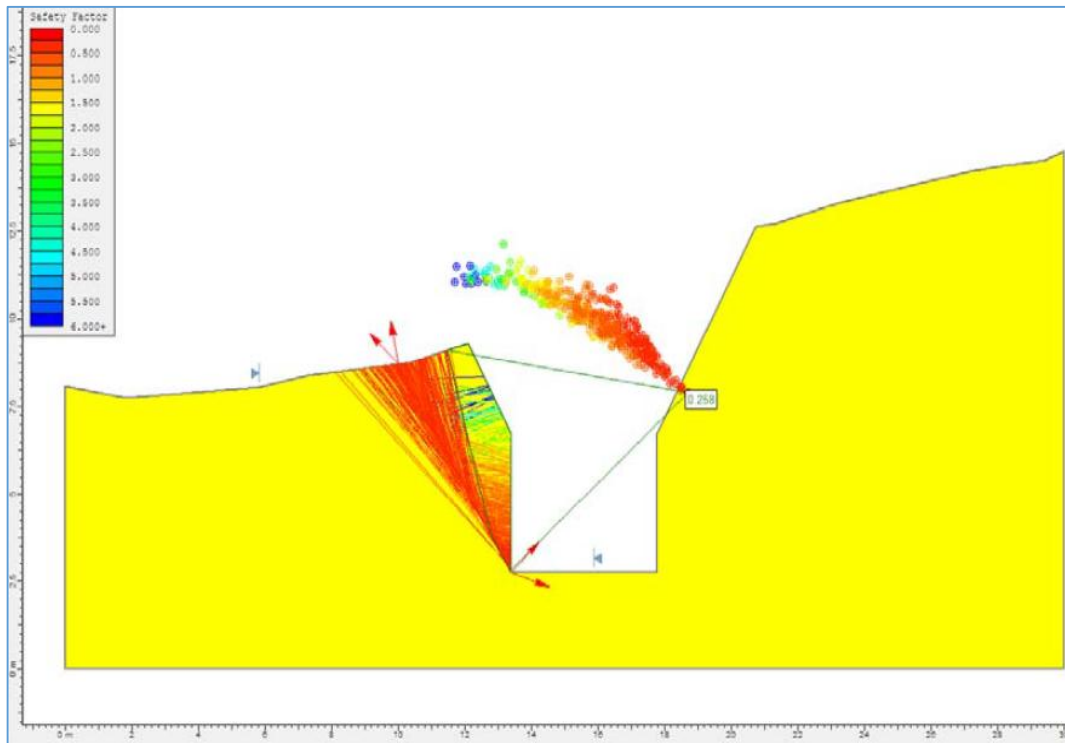
Figura 6. Análisis de estabilidad global en condiciones pseudoestáticas.



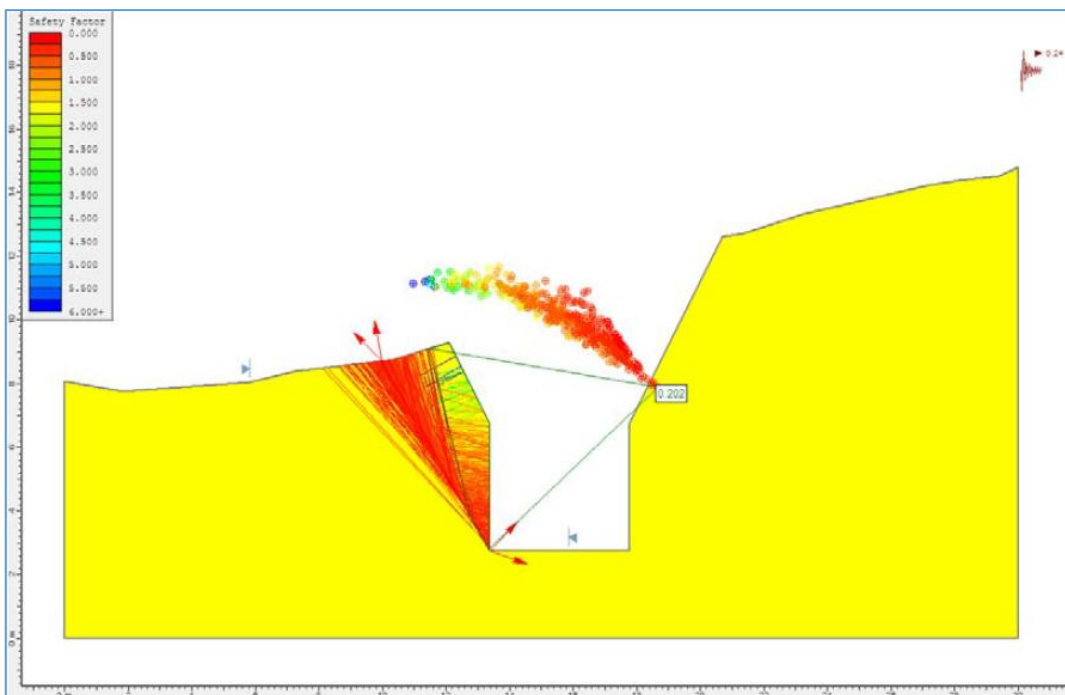
**Figura 7.** Análisis de estabilidad global considerando falla sistemática, en condiciones estáticas, con pernos de anclaje de 6 m espaciados a 2 m.



**Figura 8.** Análisis de estabilidad global considerando falla sistemática, en condiciones pseudoestáticas, con pernos de anclaje de 6 m espaciados a 2 m.



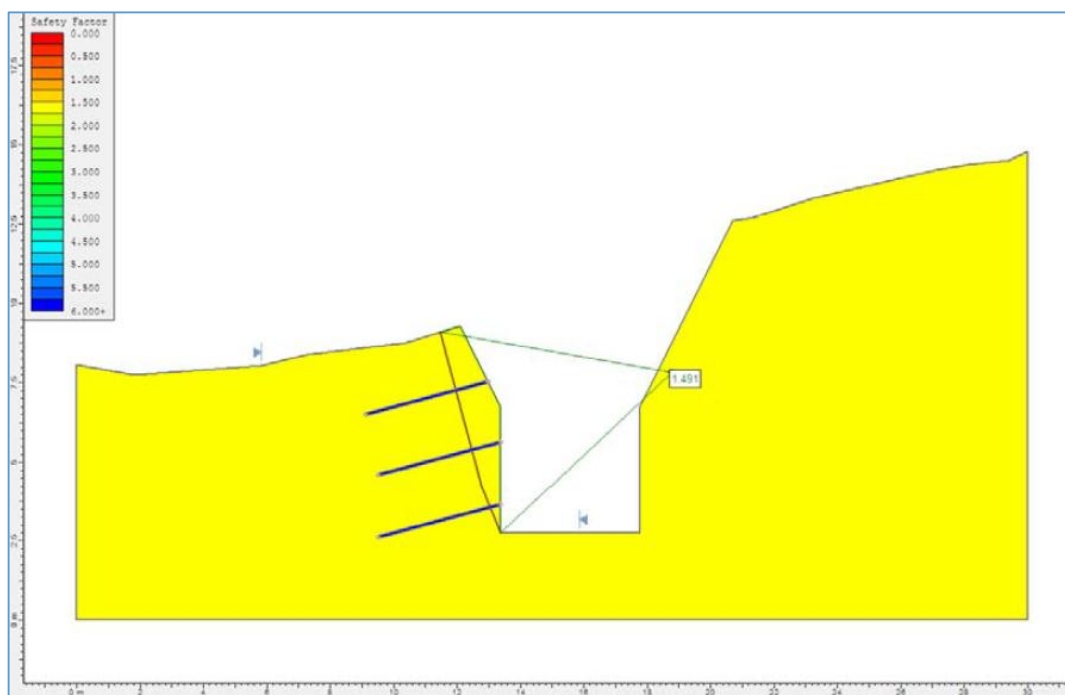
**Figura 9.** Análisis de estabilidad global en condiciones estáticas.



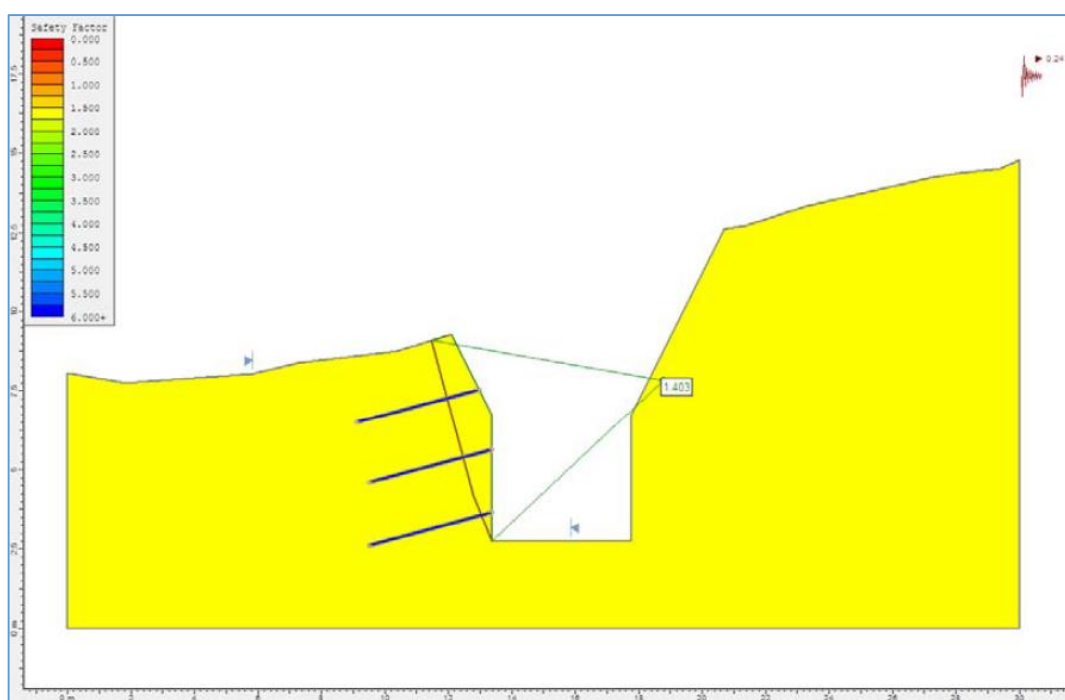
**Figura 10.** Análisis de estabilidad global en condiciones pseudoestáticas.



**b. Túnel – Portal de Entrada – Talud Lateral Izquierdo**



**Figura 11.** Análisis de estabilidad global en condiciones estáticas, con pernos de anclaje de 4 m espaciado a 2.5 m.



**Figura 12.** Análisis de estabilidad global en condiciones pseudoestáticas, con pernos de anclaje de 4 m espaciado a 2.5 m.

c. Túnel – Portal de Salida– Talud Frontal

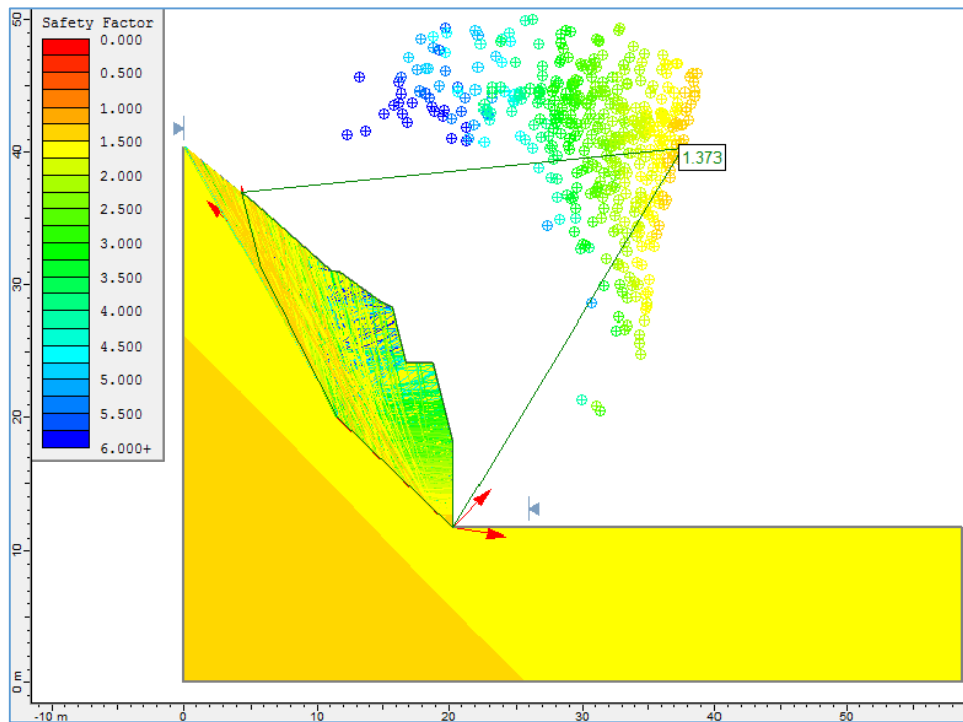


Figura 13. Análisis de estabilidad global en condiciones estáticas.

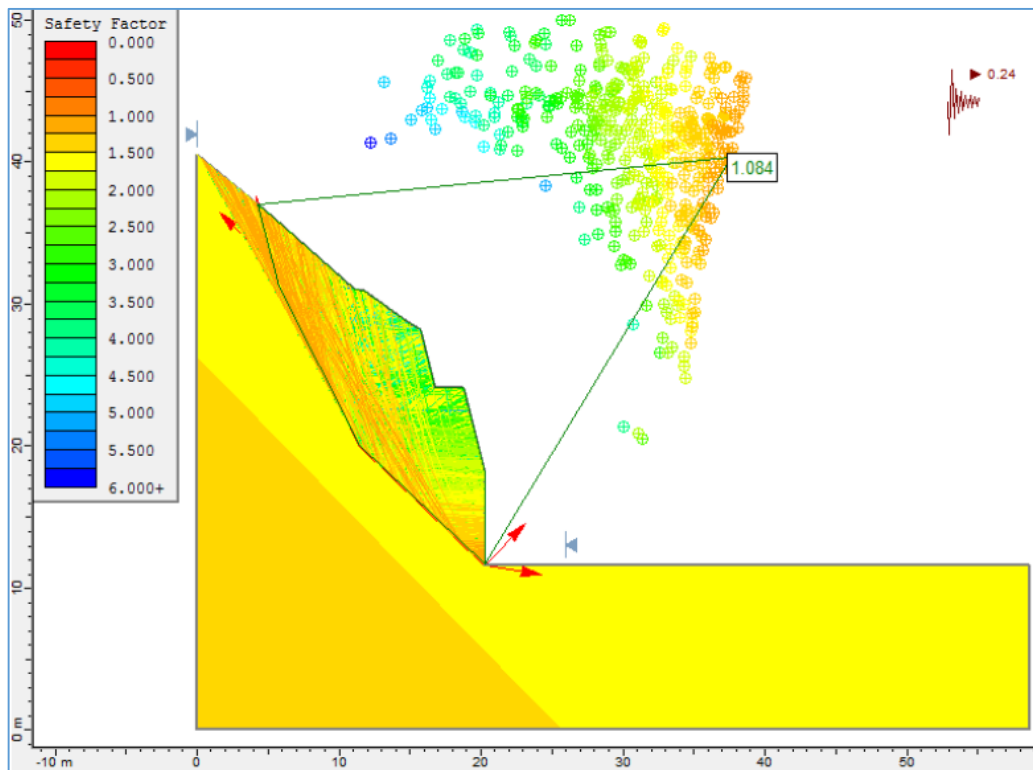
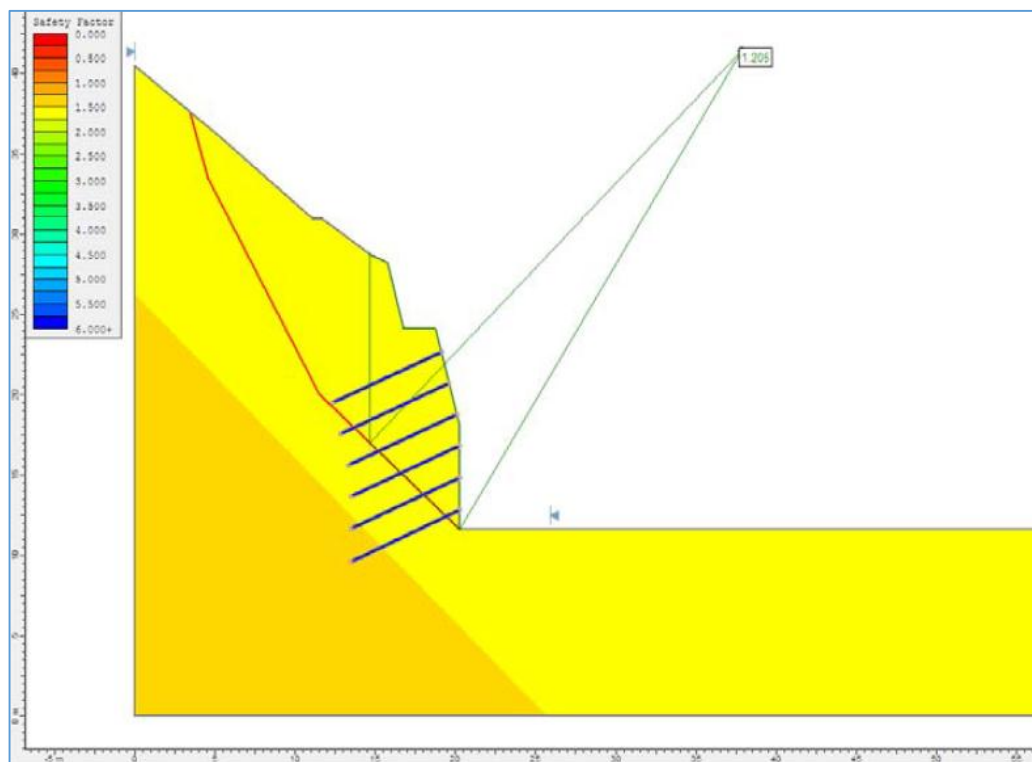
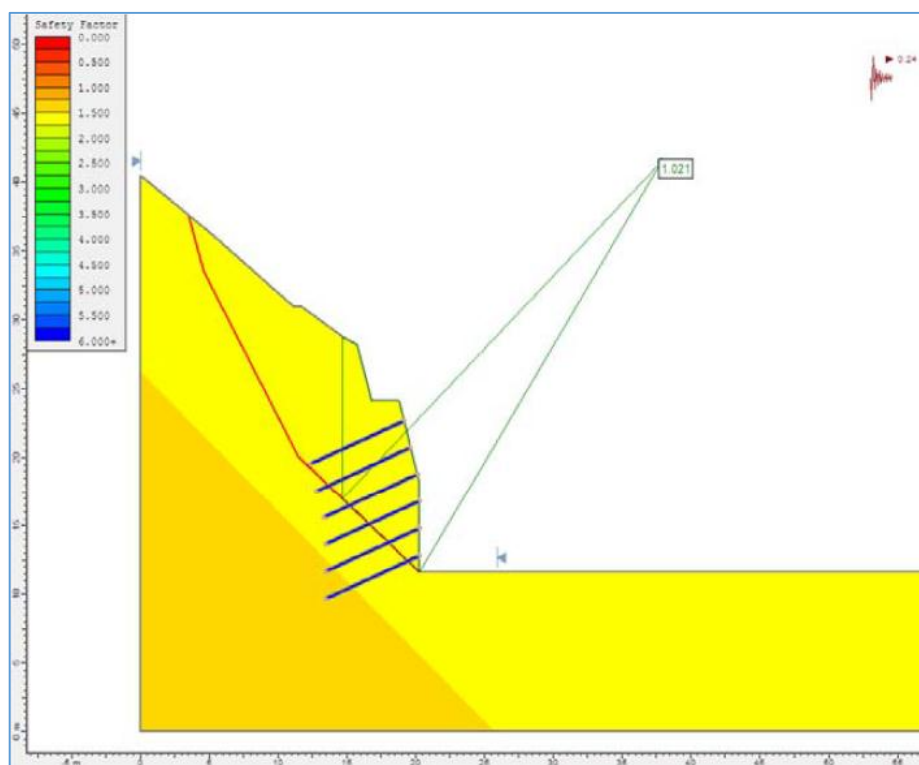


Figura 14. Análisis de estabilidad global en condiciones pseudoestáticas.



**Figura 15.** Análisis de estabilidad global considerando falla sistemática, en condiciones estáticas, con pernos de anclaje de 7.5 m espaciados a 2 m.



**Figura 16.** Análisis de estabilidad global considerando falla sistemática, en condiciones pseudoestáticas, con pernos de anclaje de 7.5 m espaciados a 2 m.

d. Túnel – Portal de Salida – Talud Lateral Izquierdo

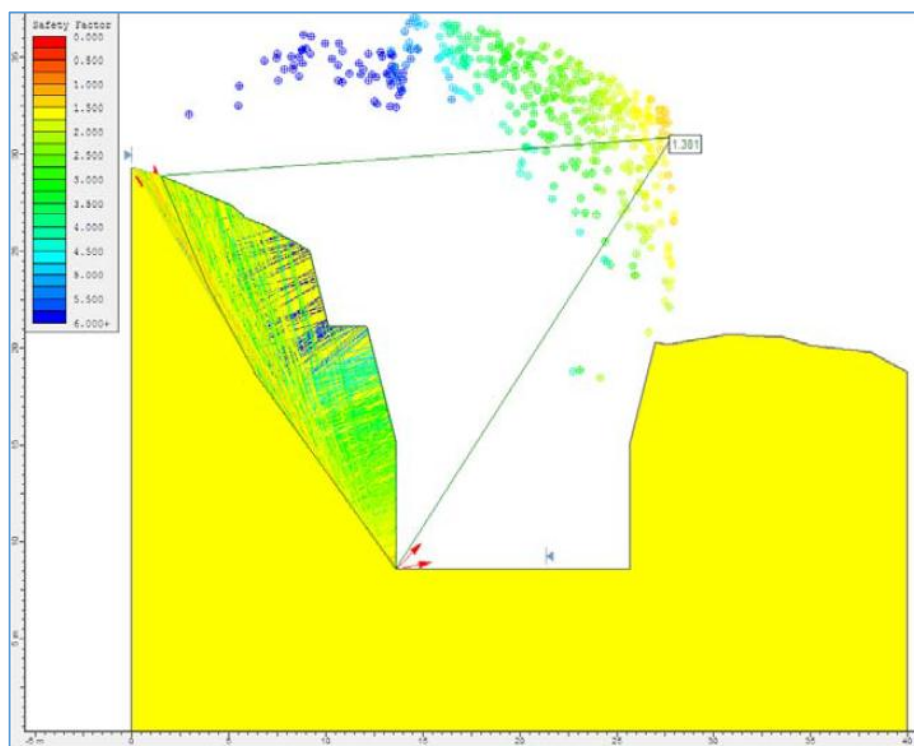


Figura 17. Análisis de estabilidad global en condiciones estáticas.

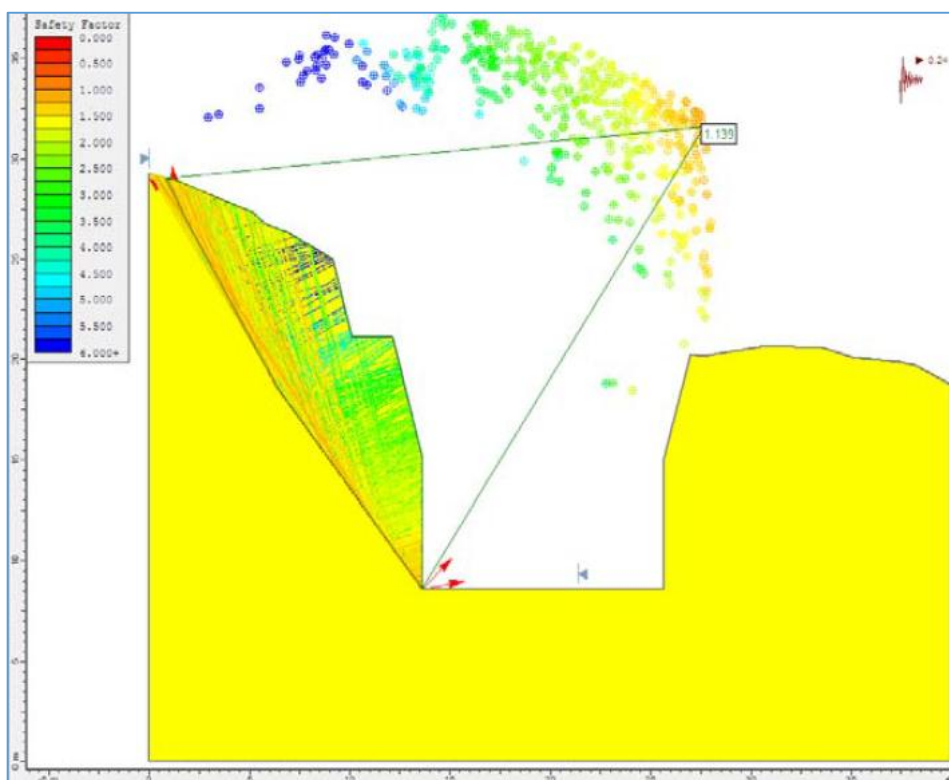
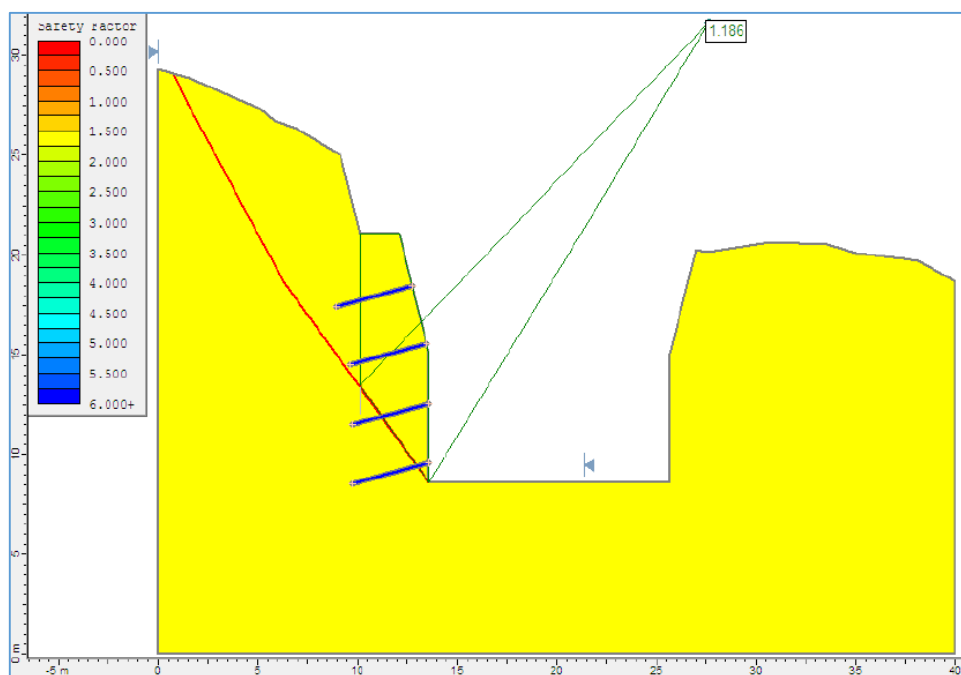
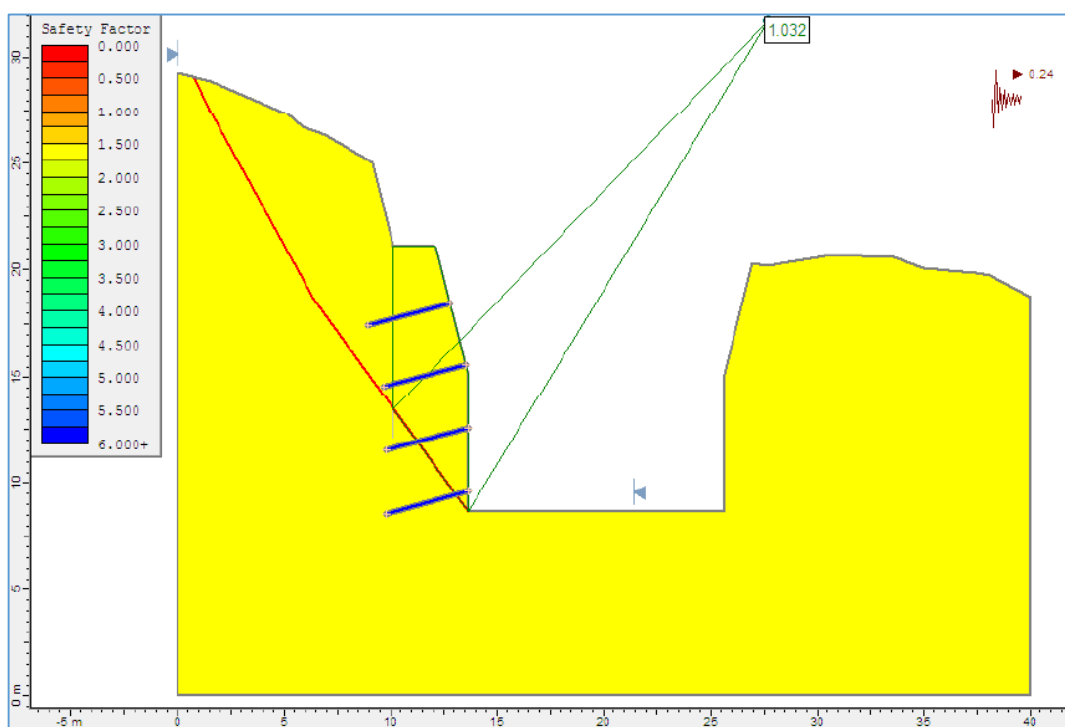


Figura 18. Análisis de estabilidad global en condiciones pseudoestáticas.



**Figura 19.** Análisis de estabilidad global considerando falla sistemática, en condiciones estáticas, con pernos de anclaje de 4 m espaciados a 3 m.



**Figura 20.** Análisis de estabilidad global considerando falla sistemática, en condiciones pseudoestáticas, con pernos de anclaje de 4 m espaciados a 3 m.

e. Túnel – Portal de Salida – Talud Lateral Derecho

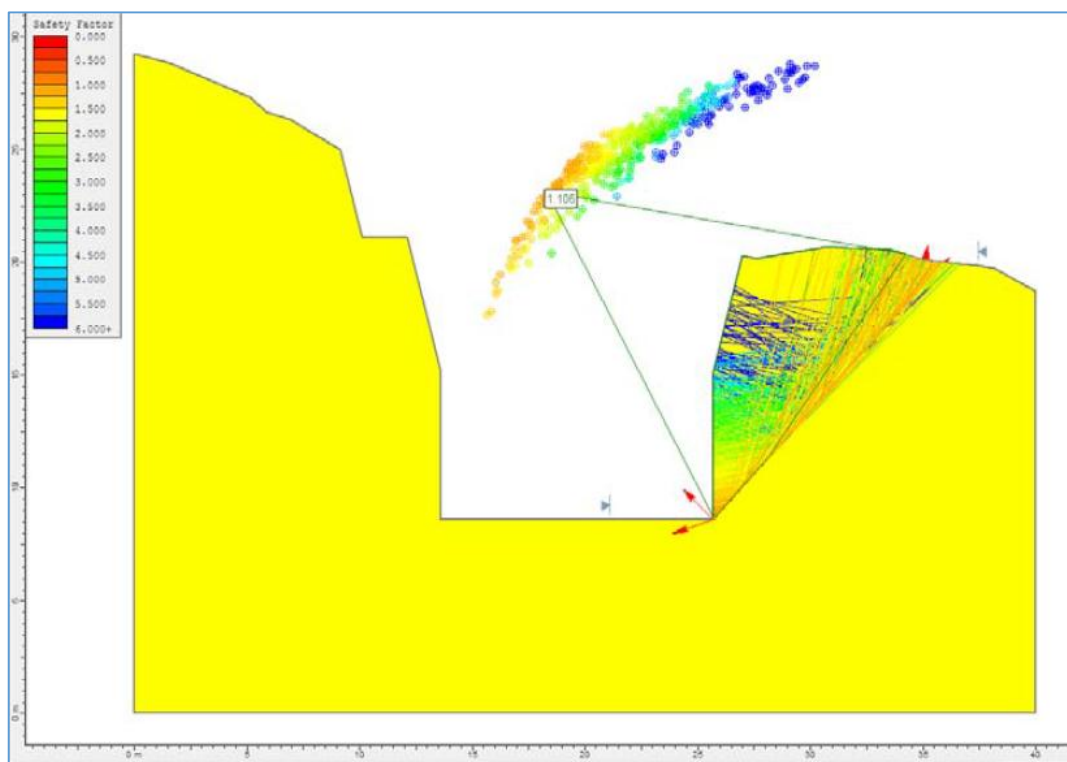


Figura 21. Análisis de estabilidad global en condiciones estáticas.

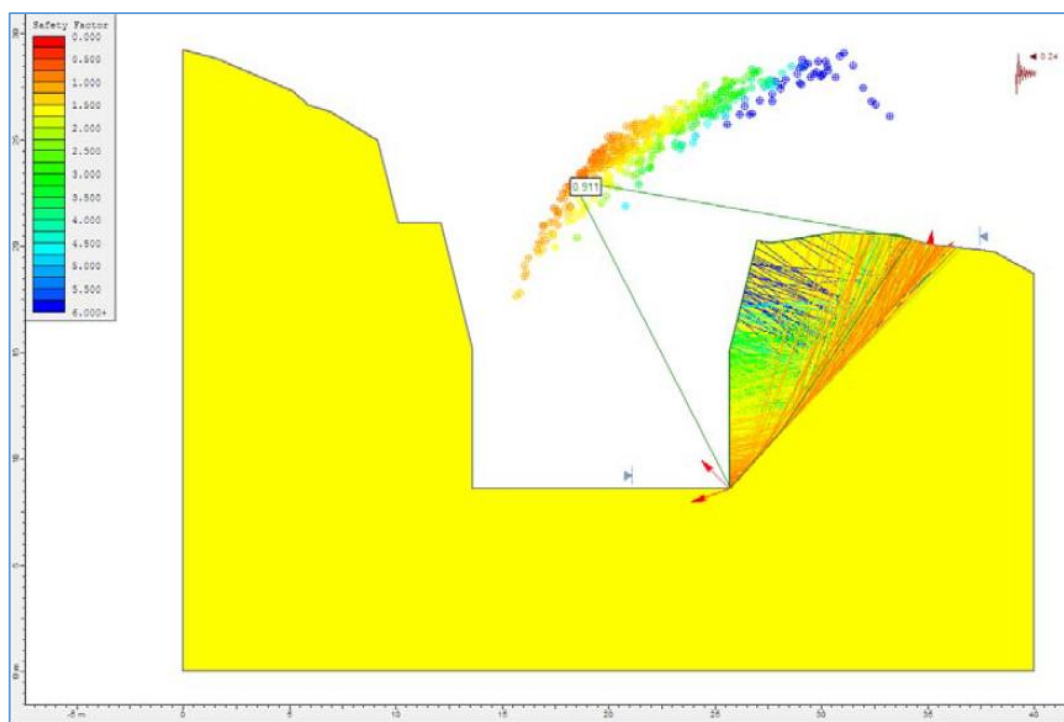
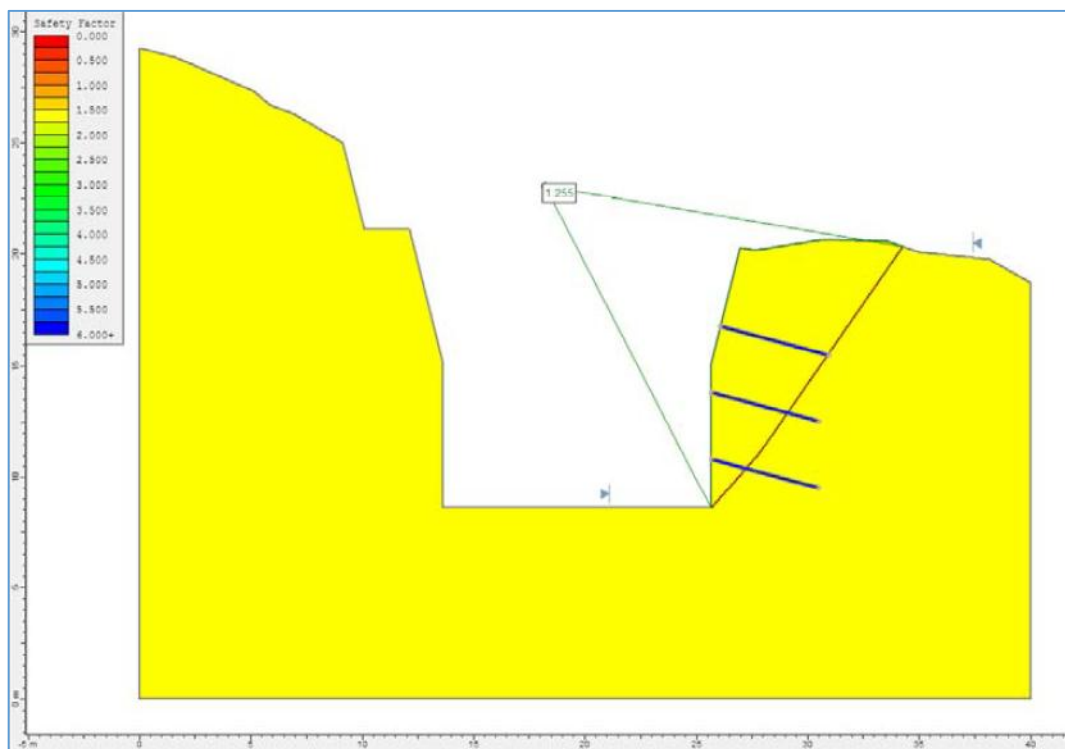


Figura 22. Análisis de estabilidad global en condiciones pseudoestáticas.



**Figura 23.** Análisis de estabilidad global en condiciones estáticas, con pernos de anclaje de 5 m espaciado a 3 m.



**Figura 24.** Análisis de estabilidad global en condiciones pseudoestáticas, con pernos de anclaje de 4 m espaciado a 2.5 m.

1.5. ANEXO C: CÁLCULO DEL SMR

**ESTABILIDAD DE TALUDES ROCOSOS  
METODOLOGÍA DEL SMR**

<b>PROYECTO:</b>	PROYECTO REGULACIÓN DEL RIO PUMAMAYO	<b>FECHA:</b>	15-11-2013
		<b>REALIZA DO:</b>	J. Taype
<b>UBICACIÓN:</b>	Aliviadero – Sección 2-2 – Corte lateral derecho	<b>REVISAD O:</b>	W. Suaña

**DETERMINACIÓN DEL VALOR DE SMR (SLOPE MASS RATING)**

$$SMR = RMR_{89} + F_1 \cdot F_2 \cdot F_3 + F_4$$

<b>1. DATOS DE LA DISCONTINUIDAD</b>			
Dirección del buzamiento ( $a_j$ ):	276	Buzamiento ( $b_j$ ):	38

<b>2. DATOS DEL TALUD</b>			
Dirección del buzamiento ( $a_s$ ):	92	°	63

<b>3. TIPO DE FALLA PREDOMINANTE:</b> - Planar (P) - Volteo (V)	P
---	---

<b>4. FACTORES POR AJUSTE DE JUNTAS</b>						
<i>Determinación del factor de ajuste <math>F_1</math></i>						
Caso		Muy favorable	Favorable	Regular	Desfavorable	Muy desfavorable
Planar	$a_s - a_j$	> 30	30 – 20	20 – 10	10 – 5	< 5
Volteo	$a_s - a_j - 180$					
Valores de $F_1$		0.15	0.40	0.70	0.85	1.00
<b>Valor de <math>F_1</math></b>						<b>0.15</b>
<i>Determinación del factor de ajuste <math>F_2</math></i>						
Caso		Muy favorable	Favorable	Regular	Desfavorable	Muy desfavorable
Planar	$b_j$	< 20	20 – 30	30 – 35	35 – 45	> 45
Valores de $F_2$		0.15	0.40	0.70	0.85	1.00
Nota: Para el caso de falla por volteo considerar $F_2 = 1$					<b>Valor de <math>F_2</math></b>	
						<b>0.85</b>
<i>Determinación del factor de ajuste <math>F_3</math></i>						
Caso		Muy favorable	Favorable	Regular	Desfavorable	Muy desfavorable
Planar	$b_j - b_s$	> 10	10 – 0	0	0 – (-10)	< (-10)
Volteo	$b_j + b_s$	< 110	110 – 120	> 120	---	---
Valores de $F_3$		0	-6	-25	-50	-60
<b>Valor de <math>F_3</math></b>						<b>-60</b>

<b>5. FACTOR DE AJUSTE SEGÚN EL MÉTODO DE EXCAVACIÓN</b>					
<i>Determinación del factor de ajuste <math>F_4</math></i>					<b>RB</b>
Método	Talud Natural NS	Pre-Corte PS	Voladura Controlada SB	Voladura Regular RB	Voladura Deficiente DB
Valores de $F_4$	15	10	8	0	-8
<b>Valor de <math>F_4</math></b>					<b>0</b>

<b>VALOR DE SMR</b>		
<b>SMR</b>	:	<b>33</b>
Descripción	:	Mala
Estabilidad	:	Inestable
Roturas	:	Junas grandes o cuñas
Tratamiento	:	Corrección



**ESTABILIDAD DE TALUDES ROCOSOS  
METODOLOGÍA DEL SMR**

**PROYECTO:** PROYECTO REGULACIÓN DEL RIO PUMAMAYO **FECHA:** 15-11-2016  
**UBICACIÓN:** Aliviadero – Sección 3-3 – Corte lateral derecho **REALIZADO:** J. Taype  
**REVISADO:** W. Suaña

**DETERMINACIÓN DEL VALOR DE SMR (SLOPE MASS RATING)**

$$SMR = RMR_{89} + F_1 \cdot F_2 \cdot F_3 + F_4$$

<b>1. DATOS DE LA DISCONTINUIDAD</b>			
Dirección del buzamiento ( $a_j$ ):	276	Buzamiento ( $b_j$ ):	34

<b>2. DATOS DEL TALUD</b>			
Dirección del buzamiento ( $a_s$ ):	92	Buzamiento ( $b_s$ ):	63

<b>3. TIPO DE FALLA PREDOMINANTE:</b> - Planar (P) - Volteo (V)	P
---	---

<b>4. FACTORES POR AJUSTE DE JUNTAS</b>						
<b>Determinación del factor de ajuste <math>F_1</math></b>						
Caso		Muy favorable	Favorable	Regular	Desfavorable	Muy desfavorable
Planar	$a_s - a_j$	> 30	30 – 20	20 – 10	10 – 5	< 5
Volteo	$a_s - a_j - 180$					
Valores de $F_1$		0.15	0.40	0.70	0.85	1.00
<b>Valor de <math>F_1</math></b>						<b>0.15</b>
<b>Determinación del factor de ajuste <math>F_2</math></b>						
Caso		Muy favorable	Favorable	Regular	Desfavorable	Muy desfavorable
Planar	$b_j$	< 20	20 – 30	30 – 35	35 – 45	> 45
Valores de $F_2$		0.15	0.40	0.70	0.85	1.00
Nota: Para el caso de falla por volteo considerar $F_2 = 1$					<b>Valor de <math>F_2</math></b>	
						<b>0.70</b>
<b>Determinación del factor de ajuste <math>F_3</math></b>						
Caso		Muy favorable	Favorable	Regular	Desfavorable	Muy desfavorable
Planar	$b_j - b_s$	> 10	10 – 0	0	0 – (-10)	< (-10)
Volteo	$b_j + b_s$	< 110	110 – 120	> 120	---	---
Valores de $F_3$		0	-6	-25	-50	-60
<b>Valor de <math>F_3</math></b>						<b>-60</b>

<b>5. FACTOR DE AJUSTE SEGÚN EL MÉTODO DE EXCAVACIÓN</b>					
<b>Determinación del factor de ajuste <math>F_4</math></b>					<b>RB</b>
Método	Talud Natural NS	Pre-Corte PS	Voladura Controlada SB	Voladura Regular RB	Voladura Deficiente DB
Valores de $F_4$	15	10	8	0	-8
<b>Valor de <math>F_4</math></b>					<b>0</b>

<b>VALOR DE SMR</b>		
<b>SMR</b>	:	<b>35</b>
Descripción	:	Mala
Estabilidad	:	Inestable
Roturas	:	Junas grandes o cuñas
Tratamiento	:	Corrección

**ESTABILIDAD DE TALUDES ROCOSOS  
METODOLOGÍA DEL SMR**

**PROYECTO:** PROYECTO REGULACIÓN DEL RIO PUMAMAYO **FECHA:** 15-11-2013  
**UBICACIÓN:** Aliviadero – Sección 6-6 – Corte lateral derecho **REALIZADO:** J. Taype  
**REVISADO:** W. Suaña

**DETERMINACIÓN DEL VALOR DE SMR (SLOPE MASS RATING)**

$$SMR = RMR_{89} + F_1 \cdot F_2 \cdot F_3 + F_4$$

**1. DATOS DE LA DISCONTINUIDAD**

Dirección del buzamiento ( $a_j$ ):	268	Buzamiento ( $b_j$ ):	39
-------------------------------------	-----	-----------------------	----

**2. DATOS DEL TALUD**

Dirección del buzamiento ( $a_s$ ):	25	Buzamiento ( $b_s$ ):	63
-------------------------------------	----	-----------------------	----

**3. TIPO DE FALLA PREDOMINANTE:** - Planar (P) - Volteo (V) P

**4. FACTORES POR AJUSTE DE JUNTAS**

**Determinación del factor de ajuste  $F_1$**

Caso		Muy favorable	Favorable	Regular	Desfavorable	Muy desfavorable
Planar	$a_s - a_j$	> 30	30 – 20	20 – 10	10 – 5	< 5
Volteo	$a_s - a_j - 180$					
Valores de $F_1$		0.15	0.40	0.70	0.85	1.00
<b>Valor de <math>F_1</math></b>						<b>0.15</b>

**Determinación del factor de ajuste  $F_2$**

Caso		Muy favorable	Favorable	Regular	Desfavorable	Muy desfavorable
Planar	$b_j$	< 20	20 – 30	30 – 35	35 – 45	> 45
Valores de $F_2$		0.15	0.40	0.70	0.85	1.00
Nota: Para el caso de falla por volteo considerar $F_2 = 1$					<b>Valor de <math>F_2</math></b>	
						<b>0.85</b>

**Determinación del factor de ajuste  $F_3$**

Caso		Muy favorable	Favorable	Regular	Desfavorable	Muy desfavorable
Planar	$b_j - b_s$	> 10	10 – 0	0	0 – (-10)	< (-10)
Volteo	$b_j + b_s$	< 110	110 – 120	> 120	---	---
Valores de $F_3$		0	-6	-25	-50	-60
<b>Valor de <math>F_3</math></b>						<b>-60</b>

**5. FACTOR DE AJUSTE SEGÚN EL MÉTODO DE EXCAVACIÓN**

**Determinación del factor de ajuste  $F_4$**

Método	<b>RB</b>				
	Talud Natural NS	Pre-Corte PS	Voladura Controlada SB	Voladura Regular RB	Voladura Deficiente DB
Valores de $F_4$	15	10	8	0	-8
<b>Valor de <math>F_4</math></b>					<b>0</b>

VALOR DE SMR		
SMR	:	<b>33</b>
Descripción	:	Mala
Estabilidad	:	Inestable
Roturas	:	Junas grandes o cuñas
Tratamiento	:	Corrección

**ESTABILIDAD DE TALUDES ROCOSOS  
METODOLOGÍA DEL SMR**

<b>PROYECTO:</b>	PROYECTO REGULACIÓN DEL RIO PUMAMAYO	<b>FECHA:</b>	15-11-2013
		<b>REALIZADO:</b>	J. Taype.
<b>UBICACIÓN:</b>	Portal de entrada – Corte frontal	<b>REVISADO:</b>	W. Suaña

**DETERMINACIÓN DEL VALOR DE SMR (SLOPE MASS RATING)**

$$SMR = RMR_{89} + F_1 \cdot F_2 \cdot F_3 + F_4$$

<b>1. DATOS DE LA DISCONTINUIDAD</b>			
Dirección del buzamiento ( $a_j$ ):	286	Buzamiento ( $b_j$ ):	45

<b>2. DATOS DEL TALUD</b>			
Dirección del buzamiento ( $a_s$ ):	286	Buzamiento ( $b_s$ ):	63

<b>3. TIPO DE FALLA PREDOMINANTE:</b> - Planar (P) - Volteo (V)	P
---	---

<b>4. FACTORES POR AJUSTE DE JUNTAS</b>						
<i>Determinación del factor de ajuste <math>F_1</math></i>						
	Caso	Muy favorable	Favorable	Regular	Desfavorable	Muy desfavorable
Planar	$a_s - a_j$	> 30	30 – 20	20 – 10	10 – 5	< 5
Volteo	$a_s - a_j - 180$					
Valores de $F_1$		0.15	0.40	0.70	0.85	1.00
<b>Valor de <math>F_1</math></b>						<b>1.00</b>
<i>Determinación del factor de ajuste <math>F_2</math></i>						
	Caso	Muy favorable	Favorable	Regular	Desfavorable	Muy desfavorable
Planar	$b_j$	< 20	20 – 30	30 – 35	35 – 45	> 45
Valores de $F_2$		0.15	0.40	0.70	0.85	1.00
Nota: Para el caso de falla por volteo considerar $F_2 = 1$					<b>Valor de <math>F_2</math></b>	
						<b>0.85</b>
<i>Determinación del factor de ajuste <math>F_3</math></i>						
	Caso	Muy favorable	Favorable	Regular	Desfavorable	Muy desfavorable
Planar	$b_j - b_s$	> 10	10 – 0	0	0 – (-10)	< (-10)
Volteo	$b_j + b_s$	< 110	110 – 120	> 120	---	---
Valores de $F_3$		0	-6	-25	-50	-60
<b>Valor de <math>F_3</math></b>						<b>-60</b>

<b>5. FACTOR DE AJUSTE SEGÚN EL MÉTODO DE EXCAVACIÓN</b>					
<i>Determinación del factor de ajuste <math>F_4</math></i>					<b>RB</b>
Método	Talud Natural NS	Pre-Corte PS	Voladura Controlada SB	Voladura Regular RB	Voladura Deficiente DB
Valores de $F_4$		15	10	8	0
<b>Valor de <math>F_4</math></b>					<b>0</b>

VALOR DE SMR		
SMR	:	-10
Descripción	:	Muy mala
Estabilidad	:	Muy inestable
Roturas	:	Grandes roturas por planes continuos
Tratamiento	:	Re-excavación

**ESTABILIDAD DE TALUDES ROCOSOS  
METODOLOGÍA DEL SMR**

**PROYECTO:** PROYECTO REGULACIÓN DEL RIO PUMAMAYO **FECHA:** 15-11-2013  
**REALIZADO:** J. Taype  
**UBICACIÓN:** Portal de entrada – Corte lateral derecho **REVISADO:** W. Suaña  
**O:**

**DETERMINACIÓN DEL VALOR DE SMR (SLOPE MASS RATING)**

$$SMR = RMR_{89} + F_1 \cdot F_2 \cdot F_3 + F_4$$

<b>1. DATOS DE LA DISCONTINUIDAD</b>			
Dirección del buzamiento ( $a_j$ ):	286	Buzamiento ( $b_j$ ):	63

<b>2. DATOS DEL TALUD</b>			
Dirección del buzamiento ( $a_s$ ):	16	Buzamiento ( $b_s$ ):	63

<b>3. TIPO DE FALLA PREDOMINANTE:</b> - Planar (P) - Volteo (V)	P
---	---

<b>4. FACTORES POR AJUSTE DE JUNTAS</b>						
<i>Determinación del factor de ajuste <math>F_1</math></i>						
Caso		Muy favorable	Favorable	Regular	Desfavorable	Muy desfavorable
Planar	$a_s - a_j$	> 30	30 - 20	20 - 10	10 - 5	< 5
Volteo	$a_s - a_j - 180$					
Valores de $F_1$		0.15	0.40	0.70	0.85	1.00
<b>Valor de <math>F_1</math></b>						<b>0.15</b>
<i>Determinación del factor de ajuste <math>F_2</math></i>						
Caso		Muy favorable	Favorable	Regular	Desfavorable	Muy desfavorable
Planar	$b_j$	< 20	20 - 30	30 - 35	35 - 45	> 45
Valores de $F_2$		0.15	0.40	0.70	0.85	1.00
Nota: Para el caso de falla por volteo considerar $F_2 = 1$					<b>Valor de <math>F_2</math></b>	
						<b>1.00</b>
<i>Determinación del factor de ajuste <math>F_3</math></i>						
Caso		Muy favorable	Favorable	Regular	Desfavorable	Muy desfavorable
Planar	$b_j - b_s$	> 10	10 - 0	0	0 - (-10)	< (-10)
Volteo	$b_j + b_s$	< 110	110 - 120	> 120	---	---
Valores de $F_3$		0	-6	-25	-50	-60
<b>Valor de <math>F_3</math></b>						<b>-25</b>

<b>5. FACTOR DE AJUSTE SEGÚN EL MÉTODO DE EXCAVACIÓN</b>					
<i>Determinación del factor de ajuste <math>F_4</math></i>					<b>RB</b>
Método	Talud Natural NS	Pre-Corte PS	Voladura Controlada SB	Voladura Regular RB	Voladura Deficiente DB
Valores de $F_4$					-8
					<b>Valor de <math>F_4</math></b>
					<b>0</b>

VALOR DE SMR		
SMR	:	37
Descripción	:	Muy mala
Estabilidad	:	Inestable
Roturas	:	Junas grandes o cuñas
Tratamiento	:	Corrección

**ESTABILIDAD DE TALUDES ROCOSOS  
METODOLOGÍA DEL SMR**

**PROYECTO:** PROYECTO REGULACIÓN DEL RIO PUMAMAYO **FECHA:**  
**REALIZA DO:** J. Taype  
**UBICACIÓN:** Portal de entrada – Corte lateral izquierdo **REVISAD O:** W. Suaña

**DETERMINACIÓN DEL VALOR DE SMR (SLOPE MASS RATING)**

$$SMR = RMR_{89} + F_1 \cdot F_2 \cdot F_3 + F_4$$

<b>1. DATOS DE LA DISCONTINUIDAD</b>	
Dirección del buzamiento ( $a_j$ ):	286
Buzamiento ( $b_j$ ):	45

<b>2. DATOS DEL TALUD</b>	
Dirección del buzamiento ( $a_s$ ):	196
Buzamiento ( $b_s$ ):	63

<b>3. TIPO DE FALLA PREDOMINANTE:</b> - Planar (P) - Volteo (V)	P
---	---

<b>4. FACTORES POR AJUSTE DE JUNTAS</b>						
<i>Determinación del factor de ajuste <math>F_1</math></i>						
	Caso	Muy favorable	Favorable	Regular	Desfavorable	Muy desfavorable
Planar	$a_s - a_j$	> 30	30 – 20	20 – 10	10 – 5	< 5
Volteo	$a_s - a_j - 180$					
Valores de $F_1$		0.15	0.40	0.70	0.85	1.00
<b>Valor de <math>F_1</math></b>						<b>0.15</b>
<i>Determinación del factor de ajuste <math>F_2</math></i>						
	Caso	Muy favorable	Favorable	Regular	Desfavorable	Muy desfavorable
Planar	$b_j$	< 20	20 – 30	30 – 35	35 – 45	> 45
Valores de $F_2$		0.15	0.40	0.70	0.85	1.00
Nota: Para el caso de falla por volteo considerar $F_2 = 1$						<b>Valor de <math>F_2</math></b>
						<b>0.85</b>
<i>Determinación del factor de ajuste <math>F_3</math></i>						
	Caso	Muy favorable	Favorable	Regular	Desfavorable	Muy desfavorable
Planar	$b_j - b_s$	> 10	10 – 0	0	0 – (-10)	< (-10)
Volteo	$b_j + b_s$	< 110	110 – 120	> 120	---	---
Valores de $F_3$		0	-6	-25	-50	-60
<b>Valor de <math>F_3</math></b>						<b>-60</b>

<b>5. FACTOR DE AJUSTE SEGÚN EL MÉTODO DE EXCAVACIÓN</b>					
<i>Determinación del factor de ajuste <math>F_4</math></i>					<b>RB</b>
Método	Talud Natural NS	Pre-Corte PS	Voladura Controlada SB	Voladura Regular RB	Voladura Deficiente DB
Valores de $F_4$		15	10	8	0
<b>Valor de <math>F_4</math></b>					<b>0</b>

VALOR DE SMR	
SMR	33
Descripción	Muy mala
Estabilidad	Inestable
Roturas	Junas grandes o cuñas
Tratamiento	Corrección

**ESTABILIDAD DE TALUDES ROCOSOS  
METODOLOGÍA DEL SMR**

**PROYECTO:** PROYECTO REGULACIÓN DEL RIO PUMAMAYO      **FECHA:** 15-11-2013  
**UBICACIÓN:** Portal de salida – Corte frontal      **REALIZADO:** J. Taype.  
**REVISADO:** W. Suaña

**DETERMINACIÓN DEL VALOR DE SMR (SLOPE MASS RATING)**

$$SMR = RMR_{89} + F_1 \cdot F_2 \cdot F_3 + F_4$$

**1. DATOS DE LA DISCONTINUIDAD**

Dirección del buzamiento ( $a_j$ ):	268	Buzamiento ( $b_j$ ):	39
-------------------------------------	-----	-----------------------	----

**2. DATOS DEL TALUD**

Dirección del buzamiento ( $a_s$ ):	228	Buzamiento ( $b_s$ ):	76
-------------------------------------	-----	-----------------------	----

**3. TIPO DE FALLA PREDOMINANTE:** - Planar (P) - Volteo (V)      **P**

**4. FACTORES POR AJUSTE DE JUNTAS**

**Determinación del factor de ajuste  $F_1$**

Caso		Muy favorable	Favorable	Regular	Desfavorable	Muy desfavorable
Planar	$a_s - a_j$	> 30	30 – 20	20 – 10	10 – 5	< 5
Volteo	$a_s - a_j - 180$					
Valores de $F_1$		0.15	0.40	0.70	0.85	1.00
<b>Valor de <math>F_1</math></b>						<b>0.15</b>

**Determinación del factor de ajuste  $F_2$**

Caso		Muy favorable	Favorable	Regular	Desfavorable	Muy desfavorable
Planar	$b_j$	< 20	20 – 30	30 – 35	35 – 45	> 45
Valores de $F_2$		0.15	0.40	0.70	0.85	1.00
Nota: Para el caso de falla por volteo considerar $F_2 = 1$					<b>Valor de <math>F_2</math></b>	
						<b>0.85</b>

**Determinación del factor de ajuste  $F_3$**

Caso		Muy favorable	Favorable	Regular	Desfavorable	Muy desfavorable
Planar	$b_j - b_s$	> 10	10 – 0	0	0 – (-10)	< (-10)
Volteo	$b_j + b_s$	< 110	110 – 120	> 120	---	---
Valores de $F_3$		0	-6	-25	-50	-60
<b>Valor de <math>F_3</math></b>						<b>-60</b>

**5. FACTOR DE AJUSTE SEGÚN EL MÉTODO DE EXCAVACIÓN**

**Determinación del factor de ajuste  $F_4$**

Método	Talud Natural NS	Pre-Corte PS	Voladura Controlada SB	Voladura Regular RB	Voladura Deficiente DB
Valores de $F_4$	15	10	8	0	-8
<b>Valor de <math>F_4</math></b>					<b>0</b>

VALOR DE SMR	
SMR	<b>33</b>
Descripción	Muy mala
Estabilidad	Inestable
Roturas	Junas grandes o cuñas
Tratamiento	Corrección

**ESTABILIDAD DE TALUDES ROCOSOS  
METODOLOGÍA DEL SMR**

**PROYECTO:** PROYECTO REGULACIÓN DEL RIO PUMAMAYO      **FECHA:** 15-11-2013  
**UBICACIÓN:** Portal de salida – Corte lateral derecho      **REALIZADO:** J. Taype.  
**REVISADO:** W. Suaña

**DETERMINACIÓN DEL VALOR DE SMR (SLOPE MASS RATING)**

$$SMR = RMR_{89} + F_1 \cdot F_2 \cdot F_3 + F_4$$

<b>1. DATOS DE LA DISCONTINUIDAD</b>			
Dirección del buzamiento ( $a_j$ ):	268	Buzamiento ( $b_j$ ):	39

<b>2. DATOS DEL TALUD</b>			
Dirección del buzamiento ( $a_s$ ):	138	Buzamiento ( $b_s$ ):	76

<b>3. TIPO DE FALLA PREDOMINANTE:</b> - Planar (P) - Volteo (V)			<b>P</b>
---	--	--	----------

<b>4. FACTORES POR AJUSTE DE JUNTAS</b>						
<b>Determinación del factor de ajuste <math>F_1</math></b>						
Caso		Muy favorable	Favorable	Regular	Desfavorable	Muy desfavorable
Planar	$a_s - a_j$	> 30	30 – 20	20 – 10	10 – 5	< 5
Volteo	$a_s - a_j - 180$					
Valores de $F_1$		0.15	0.40	0.70	0.85	1.00
<b>Valor de <math>F_1</math></b>						<b>0.15</b>
<b>Determinación del factor de ajuste <math>F_2</math></b>						
Caso		Muy favorable	Favorable	Regular	Desfavorable	Muy desfavorable
Planar	$b_j$	< 20	20 – 30	30 – 35	35 – 45	> 45
Valores de $F_2$		0.15	0.40	0.70	0.85	1.00
Nota: Para el caso de falla por volteo considerar $F_2 = 1$					<b>Valor de <math>F_2</math></b>	
						<b>0.85</b>
<b>Determinación del factor de ajuste <math>F_3</math></b>						
Caso		Muy favorable	Favorable	Regular	Desfavorable	Muy desfavorable
Planar	$b_j - b_s$	> 10	10 – 0	0	0 – (-10)	< (-10)
Volteo	$b_j + b_s$	< 110	110 – 120	> 120	---	---
Valores de $F_3$		0	-6	-25	-50	-60
<b>Valor de <math>F_3</math></b>						<b>-60</b>

<b>5. FACTOR DE AJUSTE SEGÚN EL MÉTODO DE EXCAVACIÓN</b>					
<b>Determinación del factor de ajuste <math>F_4</math></b>					<b>RB</b>
Método	Talud Natural NS	Pre-Corte PS	Voladura Controlada SB	Voladura Regular RB	Voladura Deficiente DB
Valores de $F_4$	15	10	8	0	-8
<b>Valor de <math>F_4</math></b>					<b>0</b>

<b>VALOR DE SMR</b>		
<b>SMR</b>	:	<b>33</b>
Descripción	:	Mala
Estabilidad	:	Inestable
Roturas	:	Juntas grandes o cuñas
Tratamiento	:	Corrección

**ESTABILIDAD DE TALUDES ROCOSOS  
METODOLOGÍA DEL SMR**

**PROYECTO:** PROYECTO REGULACIÓN DEL RIO PUMAMAYO      **FECHA:** 15-11-2013  
**UBICACIÓN:** Portal de salida – Corte lateral izquierdo      **REALIZADO:** J. Taype.  
**REVISADO:** W. Suaña

**DETERMINACIÓN DEL VALOR DE SMR (SLOPE MASS RATING)**

$$SMR = RMR_{89} + F_1 \cdot F_2 \cdot F_3 + F_4$$

<b>1. DATOS DE LA DISCONTINUIDAD</b>			
Dirección del buzamiento ( $a_j$ ):	268	Buzamiento ( $b_j$ ):	39

<b>2. DATOS DEL TALUD</b>			
Dirección del buzamiento ( $a_s$ ):	318	Buzamiento ( $b_s$ ):	76

<b>3. TIPO DE FALLA PREDOMINANTE:</b> - Planar (P) - Volteo (V)			<b>P</b>
---	--	--	----------

<b>4. FACTORES POR AJUSTE DE JUNTAS</b>						
<b>Determinación del factor de ajuste <math>F_1</math></b>						
Caso		Muy favorable	Favorable	Regular	Desfavorable	Muy desfavorable
Planar	$a_s - a_j$	> 30	30 – 20	20 – 10	10 – 5	< 5
Volteo	$a_s - a_j - 180$					
Valores de $F_1$		0.15	0.40	0.70	0.85	1.00
<b>Valor de <math>F_1</math></b>						<b>0.15</b>
<b>Determinación del factor de ajuste <math>F_2</math></b>						
Caso		Muy favorable	Favorable	Regular	Desfavorable	Muy desfavorable
Planar	$b_j$	< 20	20 – 30	30 – 35	35 – 45	> 45
Valores de $F_2$		0.15	0.40	0.70	0.85	1.00
Nota: Para el caso de falla por volteo considerar $F_2 = 1$					<b>Valor de <math>F_2</math></b>	
						<b>0.85</b>
<b>Determinación del factor de ajuste <math>F_3</math></b>						
Caso		Muy favorable	Favorable	Regular	Desfavorable	Muy desfavorable
Planar	$b_j - b_s$	> 10	10 – 0	0	0 – (-10)	< (-10)
Volteo	$b_j + b_s$	< 110	110 – 120	> 120	---	---
Valores de $F_3$		0	-6	-25	-50	-60
<b>Valor de <math>F_3</math></b>						<b>-60</b>

<b>5. FACTOR DE AJUSTE SEGÚN EL MÉTODO DE EXCAVACIÓN</b>					
<b>Determinación del factor de ajuste <math>F_4</math></b>					<b>RB</b>
Método	Talud Natural NS	Pre-Corte PS	Voladura Controlada SB	Voladura Regular RB	Voladura Deficiente DB
Valores de $F_4$	15	10	8	0	-8
<b>Valor de <math>F_4</math></b>					<b>0</b>

<b>VALOR DE SMR</b>		
<b>SMR</b>	:	<b>33</b>
Descripción	:	Mala
Estabilidad	:	Inestable
Roturas	:	Juntas grandes o cuñas
Tratamiento	:	Corrección



### 1.6. ANEXO D: VALORACIÓN DEL MACIZO ROCOSO – CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA RMR

VALORACIÓN DEL MACIZO ROCOSO CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA DE BIENIAWSKI – RMR		
PROYECTO:	“REGULACIÓN DEL RÍO PUMAMAYO – EGESG” EMPRESA DE GENERACIÓN ELÉCTRICA SAN GABÁN S.A.	FECHA: 15-11-2013 REALIZADO: J. Taype.
Estación:	EG – 1A (Eje de la Presa – Estribo Derecho)	REVISADO: W. Suaña

<b>1. RESISTENCIA DE LA ROCA INTACTA (Ensayo de Carga Puntual)</b>							<b>28.0 MPa</b>
Rango de valores (MPa)	> 250	100 – 250	50 – 100	25 – 50	5 – 25	1 – 5	< 1
Puntaje	15	12	7	4	2	1	0

Valoración: 2

<b>2. VALOR DE RQD (Rock Quality Index)</b>					<b>49 %</b>
Rango de valores (%)	90 – 100	75 – 90	50 – 75	25 – 50	< 25
Puntaje	20	17	13	8	3

Valoración: 8

<b>3. ESPACIADO DE LAS DISCONTINUIDADES</b>					<b>0.10 m</b>
Rango de valores (m)	> 2	0.6 – 2	0.2 – 0.6	0.06 – 0.2	< 0.06
Puntaje	20	15	10	8	5

Valoración: 6

<b>4. CONDICIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES</b>					<b>3 m</b>
<i>Persistencia de las discontinuidades</i>					
Rango de valores (m)	< 1	1 – 3	3 – 10	10 – 20	> 20
Puntaje	6	4	2	1	0

Valoración: 2

<i>Separación (apertura)</i>					<b>30 mm</b>
Rango de valores (mm)	Ninguno	< 0.1	0.1 – 1	1 – 5	> 5
Puntaje	6	5	4	1	0

Valoración: 0

<i>Rugosidad</i>					<b>SR</b>
Condición	Muy rugosa (VR)	Rugosa (R)	Ligeramente rugosa (SR)	Lisa (L)	Superficie pulida (SK)
Puntaje	6	5	3	1	0

Valoración: 3

<i>Relleno</i>					<b>10 mm</b>
Rango de valores (mm)	Ninguno	Duro < 5	Duro > 5	Blando < 5	Blando > 5
Puntaje	6	4	2	2	0

Valoración: 0

<i>Tipo de relleno: Meteorización</i>					<b>MW</b>
Condición	No intemperizada (UW)	Ligeramente intemperizada (SW)	Moderadamente intemperizada (MW)	Altamente intemperizada (HW)	Completamente intemperizada (CW)
Puntaje	6	5	3	1	0

Valoración: 3

<b>5. CONDICIONES GENERALES DEL AGUA SUBTERRÁNEA</b>					<b>DM</b>
Condición	Completamente seca (CD)	Húmeda (DM)	Mojada (WT)	Goteo (DP)	Flujo (W)
Puntaje	15	10	7	4	0

Valoración: 10

<b>6. AJUSTE POR ORIENTACIÓN DE DISCONTINUIDADES</b>					<b>UF</b>	
Orientaciones del rumbo y buzamiento		Muy Favorable (VF)	Favorable (FV)	Regular (FR)	Desfavorable (UF)	Muy desfavorable (VU)
Puntaje según el tipo de trabajo	Túneles y minas (T)	0	-2	-5	-10	-12
	Cimentaciones (F)	0	-2	-7	-15	-25
	Taludes (S)	0	-5	-25	-50	-60

Indique el tipo de trabajo:

F

Valoración: -15

VALOR DE RMR (ROCK MASS RATING)	
RMR Básico	: 34
RMR Ajustado	: 19
RMR <sub>89</sub> (condiciones secas y muy favorables)	: 39
Cohesión (c)	: 170 KPa
Angulo de fricción interna (°)	: 22°

**VALORACIÓN DEL MACIZO ROCOSO  
CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA DE BIENIAWSKI – RMR**

**PROYECTO:** "REGULACIÓN DEL RÍO PUMAMAYO – EGESG" **FECHA:** 15-11-2013  
**EMPRESA DE GENERACIÓN ELÉCTRICA SAN GABÁN S.A.** **REALIZADO:** J. Taype.  
**Estación:** EG – 2A (Eje de la Presa – Estribo Derecho) **REVISADO:** W. Suaña

<b>1. RESISTENCIA DE LA ROCA INTACTA (Ensayo de Carga Puntual)</b>							<b>28.0 MPa</b>
Rango de valores (MPa)	> 250	100 – 250	50 – 100	25 – 50	5 – 25	1 – 5	< 1
Puntaje	15	12	7	4	2	1	0
<b>Valoración:</b>							<b>2</b>

<b>2. VALOR DE RQD (Rock Quality Index)</b>						<b>46 %</b>
Rango de valores (%)	90 – 100	75 – 90	50 – 75	25 – 50	< 25	
Puntaje	20	17	13	8	3	
<b>Valoración:</b>						<b>7</b>

<b>3. ESPACIADO DE LAS DISCONTINUIDADES</b>						<b>0.20 m</b>
Rango de valores (m)	> 2	0.6 – 2	0.2 – 0.6	0.06 – 0.2	< 0.06	
Puntaje	20	15	10	8	5	
<b>Valoración:</b>						<b>8</b>

<b>4. CONDICIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES</b>						
<b>Persistencia de las discontinuidades</b>						<b>3 m</b>
Rango de valores (m)	< 1	1 – 3	3 – 10	10 – 20	> 20	
Puntaje	6	4	2	1	0	
<b>Valoración:</b>						<b>2</b>
<b>Separación (apertura)</b>						<b>5 mm</b>
Rango de valores (mm)	Ninguno	< 0.1	0.1 – 1	1 – 5	> 5	
Puntaje	6	5	4	1	0	
<b>Valoración:</b>						<b>0</b>
<b>Rugosidad</b>						<b>SR</b>
Condición	Muy rugosa (VR)	Rugosa (R)	Ligeramente rugosa (SR)	Lisa (L)	Superficie pulida (SK)	
Puntaje	6	5	3	1	0	
<b>Valoración:</b>						<b>3</b>
<b>Relleno</b>						<b>5 mm</b>
Rango de valores (mm)	Ninguno	Duro < 5	Duro > 5	Blando < 5	Blando > 5	
Puntaje	6	4	2	2	0	
<b>Tipo de relleno:</b>						<b>2</b>
<b>Meteorización</b>						<b>HW</b>
Condición	No intemperizada (UW)	Ligeramente intemperizada (SW)	Moderadamente intemperizada (MW)	Altamente intemperizada (HW)	Completamente intemperizada (CW)	
Puntaje	6	5	3	1	0	
<b>Valoración:</b>						<b>1</b>

<b>5. CONDICIONES GENERALES DEL AGUA SUBTERRÁNEA</b>						<b>DM</b>
Condición	Completamente seca (CD)	Húmeda (DM)	Mojada (WT)	Goteo (DP)	Flujo (W)	
Puntaje	15	10	7	4	0	
<b>Valoración:</b>						<b>10</b>

<b>6. AJUSTE POR ORIENTACIÓN DE DISCONTINUIDADES</b>						<b>UF</b>
Orientaciones del rumbo y buzamiento		Muy Favorable (VF)	Favorable (FV)	Regular (FR)	Desfavorable (UF)	Muy desfavorable (VU)
Puntaje según el tipo de trabajo	Túneles y minas (T)	0	-2	-5	-10	-12
	Cimentaciones (F)	0	-2	-7	-15	-25
	Taludes (S)	0	-5	-25	-50	-60

**Indique el tipo de trabajo:** F **Valoración:** **-15**

VALOR DE RMR (ROCK MASS RATING)	
RMR Básico	: 35
RMR Ajustado	: 20
RMR <sub>89</sub> (condiciones secas y muy favorables)	: 40
Cohesión (c)	: 175 KPa
Angulo de fricción interna (°)	: 23°

**VALORACIÓN DEL MACIZO ROCOSO  
CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA DE BIENIAWSKI – RMR**

**PROYECTO:** “REGULACIÓN DEL RÍO PUMAMAYO – EGESG” **FECHA:** 15-11-2013  
**EMPRESA DE GENERACIÓN ELÉCTRICA SAN GABÁN S.A.** **REALIZADO:** J. Taype.  
**Estación:** EG – 3A (Estribo Izquierdo – Aguas Arriba) **REVISADO:** W. Suaña

<b>1. RESISTENCIA DE LA ROCA INTACTA (Ensayo de Carga Puntual)</b>							<b>28.0 MPa</b>
Rango de valores (MPa)	> 250	100 – 250	50 – 100	25 – 50	5 – 25	1 – 5	< 1
Puntaje	15	12	7	4	2	1	0
<b>Valoración:</b>							<b>2</b>

<b>2. VALOR DE RQD (Rock Quality Index)</b>						<b>49 %</b>
Rango de valores (%)	90 – 100	75 – 90	50 – 75	25 – 50	< 25	
Puntaje	20	17	13	8	3	
<b>Valoración:</b>						<b>8</b>

<b>3. ESPACIADO DE LAS DISCONTINUIDADES</b>						<b>0.20 m</b>
Rango de valores (m)	> 2	0.6 – 2	0.2 – 0.6	0.06 – 0.2	< 0.06	
Puntaje	20	15	10	8	5	
<b>Valoración:</b>						<b>8</b>

<b>4. CONDICIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES</b>						
<b>Persistencia de las discontinuidades</b>						<b>3 m</b>
Rango de valores (m)	< 1	1 – 3	3 – 10	10 – 20	> 20	
Puntaje	6	4	2	1	0	
<b>Valoración:</b>						<b>2</b>
<b>Separación (apertura)</b>						<b>20 mm</b>
Rango de valores (mm)	Ninguno	< 0.1	0.1 – 1	1 – 5	> 5	
Puntaje	6	5	4	1	0	
<b>Valoración:</b>						<b>0</b>
<b>Rugosidad</b>						<b>R</b>
Condición	Muy rugosa (VR)	Rugosa (R)	Ligeramente rugosa (SR)	Lisa (L)	Superficie pulida (SK)	
Puntaje	6	5	3	1	0	
<b>Valoración:</b>						<b>5</b>
<b>Relleno</b>						<b>10 mm</b>
Rango de valores (mm)	Ninguno	Duro < 5	Duro > 5	Blando < 5	Blando > 5	
Puntaje	6	4	2	2	0	
<b>Valoración:</b>						<b>0</b>
<b>Tipo de relleno: Meteorización</b>						<b>HW</b>
Condición	No intemperizada (UW)	Ligeramente intemperizada (SW)	Moderadamente intemperizada (MW)	Altamente intemperizada (HW)	Completamente intemperizada (CW)	
Puntaje	6	5	3	1	0	
<b>Valoración:</b>						<b>1</b>

<b>5. CONDICIONES GENERALES DEL AGUA SUBTERRÁNEA</b>						<b>WT</b>
Condición	Completamente seca (CD)	Húmeda (DM)	Mojada (WT)	Goteo (DP)	Flujo (W)	
Puntaje	15	10	7	4	0	
<b>Valoración:</b>						<b>7</b>

<b>6. AJUSTE POR ORIENTACIÓN DE DISCONTINUIDADES</b>						<b>UF</b>
Orientaciones del rumbo y buzamiento		Muy Favorable (VF)	Favorable (FV)	Regular (FR)	Desfavorable (UF)	Muy desfavorable (VU)
Puntaje según el tipo de trabajo	Túneles y minas (T)	0	-2	-5	-10	-12
	Cimentaciones (F)	0	-2	-7	-15	-25
	Taludes (S)	0	-5	-25	-50	-60

**Indique el tipo de trabajo:** **F** **Valoración:** **-50**

VALOR DE RMR (ROCK MASS RATING)	
RMR Básico	: 33
RMR Ajustado	: 0
RMR <sub>89</sub> (condiciones secas y muy favorables)	: 41
Cohesión (c)	: 165 KPa
Angulo de fricción interna (°)	: 22°

**VALORACIÓN DEL MACIZO ROCOSO  
CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA DE BIENIAWSKI – RMR**

**PROYECTO:** “REGULACIÓN DEL RÍO PUMAMAYO – EGESG” **FECHA:** 15-11-2013  
**EMPRESA DE GENERACIÓN ELÉCTRICA SAN GABÁN S.A.** **REALIZADO:** J. Taype.  
**Estación:** EG – 4A (Eje de la Presa – Estribo Izquierdo) **REVISADO:** W. Suaña

<b>1. RESISTENCIA DE LA ROCA INTACTA (Ensayo de Carga Puntual)</b>							<b>37.0 MPa</b>
Rango de valores (MPa)	> 250	100 – 250	50 – 100	25 – 50	5 – 25	1 – 5	< 1
Puntaje	15	12	7	4	2	1	0
<b>Valoración:</b>							<b>3</b>

<b>2. VALOR DE RQD (Rock Quality Index)</b>						<b>52 %</b>
Rango de valores (%)	90 – 100	75 – 90	50 – 75	25 – 50	< 25	
Puntaje	20	17	13	8	3	
<b>Valoración:</b>						<b>8</b>

<b>3. ESPACIADO DE LAS DISCONTINUIDADES</b>						<b>0.30 m</b>
Rango de valores (m)	> 2	0.6 – 2	0.2 – 0.6	0.06 – 0.2	< 0.06	
Puntaje	20	15	10	8	5	
<b>Valoración:</b>						<b>9</b>

<b>4. CONDICIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES</b>					
<b>Persistencia de las discontinuidades</b>					<b>3 m</b>
Rango de valores (m)	< 1	1 – 3	3 – 10	10 – 20	> 20
Puntaje	6	4	2	1	0
<b>Valoración:</b>					<b>2</b>
<b>Separación (apertura)</b>					<b>30 mm</b>
Rango de valores (mm)	Ninguno	< 0.1	0.1 – 1	1 – 5	> 5
Puntaje	6	5	4	1	0
<b>Valoración:</b>					<b>0</b>
<b>Rugosidad</b>					<b>R</b>
Condición	Muy rugosa (VR)	Rugosa (R)	Ligeramente rugosa (SR)	Lisa (L)	Superficie pulida (SK)
Puntaje	6	5	3	1	0
<b>Valoración:</b>					<b>5</b>
<b>Relleno</b>					<b>10 mm</b>
Rango de valores (mm)	Ninguno	Duro < 5	Duro > 5	Blando < 5	Blando > 5
Puntaje	6	4	2	2	0
<b>Tipo de relleno: Meteorización</b>					<b>0</b>
Blando: <span style="color: red;">X</span> Duro: <span style="background-color: #c0c0c0;"> </span>					<b>HW</b>
Condición	No intemperizada (UW)	Ligeramente intemperizada (SW)	Moderadamente intemperizada (MW)	Altamente intemperizada (HW)	Completamente intemperizada (CW)
Puntaje	6	5	3	1	0
<b>Valoración:</b>					<b>1</b>

<b>5. CONDICIONES GENERALES DEL AGUA SUBTERRÁNEA</b>						<b>DM</b>
Condición	Completamente seca (CD)	Húmeda (DM)	Mojada (WT)	Goteo (DP)	Flujo (W)	
Puntaje	15	10	7	4	0	
<b>Valoración:</b>						<b>10</b>

<b>6. AJUSTE POR ORIENTACIÓN DE DISCONTINUIDADES</b>						<b>UF</b>
Orientaciones del rumbo y buzamiento		Muy Favorable (VF)	Favorable (FV)	Regular (FR)	Desfavorable (UF)	Muy desfavorable (VU)
Puntaje según el tipo de trabajo	Túneles y minas (T)	0	-2	-5	-10	-12
	Cimentaciones (F)	0	-2	-7	-15	-25
	Taludes (S)	0	-5	-25	-50	-60

**Indique el tipo de trabajo:**  F  **Valoración:** **-15**

VALOR DE RMR (ROCK MASS RATING)	
RMR Básico	38
RMR Ajustado	23
RMR <sub>89</sub> (condiciones secas y muy favorables)	43
Cohesión (c)	190 KPa
Angulo de fricción interna (°)	24°

**VALORACIÓN DEL MACIZO ROCOSO  
CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA DE BIENIAWSKI – RMR**

**PROYECTO:** “REGULACIÓN DEL RÍO PUMAMAYO – EGESG” **FECHA:** 15-11-2013  
**EMPRESA DE GENERACIÓN ELÉCTRICA SAN GABÁN S.A.** **REALIZADO:** J. Taype.  
**Estación:** EG – 5A (Eje de la Presa – Estribo Derecho) **REVISADO:** W. Suaña

<b>1. RESISTENCIA DE LA ROCA INTACTA (Ensayo de Carga Puntual)</b>							<b>25.0 MPa</b>
Rango de valores (MPa)	> 250	100 – 250	50 – 100	25 – 50	5 – 25	1 – 5	< 1
Puntaje	15	12	7	4	2	1	0
<b>Valoración:</b>							<b>2</b>

<b>2. VALOR DE RQD (Rock Quality Index)</b>						<b>32 %</b>
Rango de valores (%)	90 – 100	75 – 90	50 – 75	25 – 50	< 25	
Puntaje	20	17	13	8	3	
<b>Valoración:</b>						<b>4</b>

<b>3. ESPACIADO DE LAS DISCONTINUIDADES</b>						<b>0.20 m</b>
Rango de valores (m)	> 2	0.6 – 2	0.2 – 0.6	0.06 – 0.2	< 0.06	
Puntaje	20	15	10	8	5	
<b>Valoración:</b>						<b>8</b>

<b>4. CONDICIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES</b>						
<b>Persistencia de las discontinuidades</b>						<b>3 m</b>
Rango de valores (m)	< 1	1 – 3	3 – 10	10 – 20	> 20	
Puntaje	6	4	2	1	0	
<b>Valoración:</b>						<b>2</b>
<b>Separación (apertura)</b>						<b>1 mm</b>
Rango de valores (mm)	Ninguno	< 0.1	0.1 – 1	1 – 5	> 5	
Puntaje	6	5	4	1	0	
<b>Valoración:</b>						<b>1</b>
<b>Rugosidad</b>						<b>SR</b>
Condición	Muy rugosa (VR)	Rugosa (R)	Ligeramente rugosa (SR)	Lisa (L)	Superficie pulida (SK)	
Puntaje	6	5	3	1	0	
<b>Valoración:</b>						<b>3</b>
<b>Relleno</b>						<b>0 mm</b>
Rango de valores (mm)	Ninguno	Duro < 5	Duro > 5	Blando < 5	Blando > 5	
Puntaje	6	4	2	2	0	
<b>Tipo de relleno: Meteorización</b>						<b>6 HW</b>
Condición	No intemperizada (UW)	Ligeramente intemperizada (SW)	Moderadamente intemperizada (MW)	Altamente intemperizada (HW)	Completamente intemperizada (CW)	
Puntaje	6	5	3	1	0	
<b>Valoración:</b>						<b>1</b>

<b>5. CONDICIONES GENERALES DEL AGUA SUBTERRÁNEA</b>						<b>DM</b>
Condición	Completamente seca (CD)	Húmeda (DM)	Mojada (WT)	Goteo (DP)	Flujo (W)	
Puntaje	15	10	7	4	0	
<b>Valoración:</b>						<b>10</b>

<b>6. AJUSTE POR ORIENTACIÓN DE DISCONTINUIDADES</b>						<b>UF</b>
Orientaciones del rumbo y buzamiento		Muy Favorable (VF)	Favorable (FV)	Regular (FR)	Desfavorable (UF)	Muy desfavorable (VU)
Puntaje según el tipo de trabajo	Túneles y minas (T)	0	-2	-5	-10	-12
	Cimentaciones (F)	0	-2	-7	-15	-25
	Taludes (S)	0	-5	-25	-50	-60

**Indique el tipo de trabajo:** F **Valoración:** **-15**

VALOR DE RMR (ROCK MASS RATING)	
RMR Básico	37
RMR Ajustado	22
RMR <sub>89</sub> (condiciones secas y muy favorables)	42
Cohesión (c)	185 KPa
Angulo de fricción interna (°)	24°

**VALORACIÓN DEL MACIZO ROCOSO  
CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA DE BIENIAWSKI – RMR**

**PROYECTO:** “REGULACIÓN DEL RÍO PUMAMAYO – EGESG” **FECHA:** 15-11-2013  
**EMPRESA DE GENERACIÓN ELÉCTRICA SAN GABÁN S.A.** **REALIZADO:** J. Taype.  
**Estación:** EG – 6A (Estribo Derecho – Aguas Abajo) **REVISADO:** W. Suaña

<b>1. RESISTENCIA DE LA ROCA INTACTA (Ensayo de Carga Puntual)</b>							<b>25.0 MPa</b>
Rango de valores (MPa)	> 250	100 – 250	50 – 100	25 – 50	5 – 25	1 – 5	< 1
Puntaje	15	12	7	4	2	1	0
<b>Valoración:</b>							<b>2</b>

<b>2. VALOR DE RQD (Rock Quality Index)</b>						<b>27 %</b>
Rango de valores (%)	90 – 100	75 – 90	50 – 75	25 – 50	< 25	
Puntaje	20	17	13	8	3	
<b>Valoración:</b>						<b>3</b>

<b>3. ESPACIADO DE LAS DISCONTINUIDADES</b>						<b>0.10 m</b>
Rango de valores (m)	> 2	0.6 – 2	0.2 – 0.6	0.06 – 0.2	< 0.06	
Puntaje	20	15	10	8	5	
<b>Valoración:</b>						<b>6</b>

<b>4. CONDICIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES</b>					
<b>Persistencia de las discontinuidades</b>					<b>1 m</b>
Rango de valores (m)	< 1	1 – 3	3 – 10	10 – 20	> 20
Puntaje	6	4	2	1	0
<b>Valoración:</b>					<b>4</b>
<b>Separación (apertura)</b>					<b>2 mm</b>
Rango de valores (mm)	Ninguno	< 0.1	0.1 – 1	1 – 5	> 5
Puntaje	6	5	4	1	0
<b>Valoración:</b>					<b>1</b>
<b>Rugosidad</b>					<b>SR</b>
Condición	Muy rugosa (VR)	Rugosa (R)	Ligeramente rugosa (SR)	Lisa (L)	Superficie pulida (SK)
Puntaje	6	5	3	1	0
<b>Valoración:</b>					<b>3</b>
<b>Relleno</b>					<b>1 mm</b>
Rango de valores (mm)	Ninguno	Duro < 5	Duro > 5	Blando < 5	Blando > 5
Puntaje	6	4	2	2	0
<b>Tipo de relleno: Meteorización</b>					<b>2</b>
Blando: <span style="color: red;">X</span> Duro: <span style="background-color: #c8e6c9; padding: 2px;"> </span>					<b>HW</b>
Condición	No intemperizada (UW)	Ligeramente intemperizada (SW)	Moderadamente intemperizada (MW)	Altamente intemperizada (HW)	Completamente intemperizada (CW)
Puntaje	6	5	3	1	0
<b>Valoración:</b>					<b>1</b>

<b>5. CONDICIONES GENERALES DEL AGUA SUBTERRÁNEA</b>						<b>WT</b>
Condición	Completamente seca (CD)	Húmeda (DM)	Mojada (WT)	Goteo (DP)	Flujo (W)	
Puntaje	15	10	7	4	0	
<b>Valoración:</b>						<b>7</b>

<b>6. AJUSTE POR ORIENTACIÓN DE DISCONTINUIDADES</b>						<b>UF</b>
Orientaciones del rumbo y buzamiento		Muy Favorable (VF)	Favorable (FV)	Regular (FR)	Desfavorable (UF)	Muy desfavorable (VU)
Puntaje según el tipo de trabajo	Túneles y minas (T)	0	-2	-5	-10	-12
	Cimentaciones (F)	0	-2	-7	-15	-25
	Taludes (S)	0	-5	-25	-50	-60

**Indique el tipo de trabajo:**  F  **Valoración:** **-15**

VALOR DE RMR (ROCK MASS RATING)	
RMR Básico	: 29
RMR Ajustado	: 14
RMR <sub>89</sub> (condiciones secas y muy favorables)	: 37
Cohesión (c)	: 145 KPa
Angulo de fricción interna ( ° )	: 20°

**VALORACIÓN DEL MACIZO ROCOSO  
CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA DE BIENIAWSKI – RMR**

**PROYECTO:** "REGULACIÓN DEL RÍO PUMAMAYO – EGESG" **FECHA:** 15-11-2013  
**EMPRESA DE GENERACIÓN ELÉCTRICA SAN GABÁN S.A.** **REALIZADO:** J. Taype.  
**Estación:** EG – 7A (Salida de túnel) **REVISADO:** W. Suaña

<b>1. RESISTENCIA DE LA ROCA INTACTA (Ensayo de Carga Puntual)</b>							<b>37.0 MPa</b>
Rango de valores (MPa)	> 250	100 – 250	50 – 100	25 – 50	5 – 25	1 – 5	< 1
Puntaje	15	12	7	4	2	1	0
<b>Valoración:</b>							<b>3</b>

<b>2. VALOR DE RQD (Rock Quality Index)</b>						<b>46 %</b>
Rango de valores (%)	90 – 100	75 – 90	50 – 75	25 – 50	< 25	
Puntaje	20	17	13	8	3	
<b>Valoración:</b>						<b>7</b>

<b>3. ESPACIADO DE LAS DISCONTINUIDADES</b>						<b>0.30 m</b>
Rango de valores (m)	> 2	0.6 – 2	0.2 – 0.6	0.06 – 0.2	< 0.06	
Puntaje	20	15	10	8	5	
<b>Valoración:</b>						<b>9</b>

<b>4. CONDICIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES</b>					
<b>Persistencia de las discontinuidades</b>					<b>2 m</b>
Rango de valores (m)	< 1	1 – 3	3 – 10	10 – 20	> 20
Puntaje	6	4	2	1	0
<b>Valoración:</b>					<b>3</b>
<b>Separación (apertura)</b>					<b>10 mm</b>
Rango de valores (mm)	Ninguno	< 0.1	0.1 – 1	1 – 5	> 5
Puntaje	6	5	4	1	0
<b>Valoración:</b>					<b>0</b>
<b>Rugosidad</b>					<b>SR</b>
Condición	Muy rugosa (VR)	Rugosa (R)	Ligeramente rugosa (SR)	Lisa (L)	Superficie pulida (SK)
Puntaje	6	5	3	1	0
<b>Valoración:</b>					<b>3</b>
<b>Relleno</b>					<b>5 mm</b>
Rango de valores (mm)	Ninguno	Duro < 5	Duro > 5	Blando < 5	Blando > 5
Puntaje	6	4	2	2	0
<b>Tipo de relleno: Meteorización</b>					<b>2</b>
Blando: <span style="color: red;">X</span> Duro: <span style="background-color: #c8e6c9; border: 1px solid black; padding: 2px;"> </span> <b>Valoración:</b>					<b>HW</b>
Condición	No intemperizada (UW)	Ligeramente intemperizada (SW)	Moderadamente intemperizada (MW)	Altamente intemperizada (HW)	Completamente intemperizada (CW)
Puntaje	6	5	3	1	0
<b>Valoración:</b>					<b>1</b>

<b>5. CONDICIONES GENERALES DEL AGUA SUBTERRÁNEA</b>						<b>DM</b>
Condición	Completamente seca (CD)	Húmeda (DM)	Mojada (WT)	Goteo (DP)	Flujo (W)	
Puntaje	15	10	7	4	0	
<b>Valoración:</b>						<b>10</b>

<b>6. AJUSTE POR ORIENTACIÓN DE DISCONTINUIDADES</b>						<b>UF</b>
Orientaciones del rumbo y buzamiento		Muy Favorable (VF)	Favorable (FV)	Regular (FR)	Desfavorable (UF)	Muy desfavorable (VU)
Puntaje según el tipo de trabajo	Túneles y minas (T)	0	-2	-5	-10	-12
	Cimentaciones (F)	0	-2	-7	-15	-25
	Taludes (S)	0	-5	-25	-50	-60

**Indique el tipo de trabajo:** F **Valoración:** **-10**

VALOR DE RMR (ROCK MASS RATING)	
RMR Básico	38
RMR Ajustado	28
RMR <sub>89</sub> (condiciones secas y muy favorables)	43
Cohesión (c)	190 KPa
Angulo de fricción interna (°)	24°

**VALORACIÓN DEL MACIZO ROCOSO  
CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA DE BIENIAWSKI – RMR**

**PROYECTO:** “REGULACIÓN DEL RÍO PUMAMAYO – EGESG” **FECHA:** 15-11-2013  
**EMPRESA DE GENERACIÓN ELÉCTRICA SAN GABÁN S.A.** **REALIZADO:** J. Taype.  
**Estación:** EG – 8A (Estribo Izquierdo – Eje del Túnel) **REVISADO:** W. Suaña

<b>1. RESISTENCIA DE LA ROCA INTACTA (Ensayo de Carga Puntual)</b>							<b>37.0 MPa</b>
Rango de valores (MPa)	> 250	100 – 250	50 – 100	25 – 50	5 – 25	1 – 5	< 1
Puntaje	15	12	7	4	2	1	0
<b>Valoración:</b>							<b>3</b>

<b>2. VALOR DE RQD (Rock Quality Index)</b>						<b>56 %</b>
Rango de valores (%)	90 – 100	75 – 90	50 – 75	25 – 50	< 25	
Puntaje	20	17	13	8	3	
<b>Valoración:</b>						<b>9</b>

<b>3. ESPACIADO DE LAS DISCONTINUIDADES</b>						<b>0.30 m</b>
Rango de valores (m)	> 2	0.6 – 2	0.2 – 0.6	0.06 – 0.2	< 0.06	
Puntaje	20	15	10	8	5	
<b>Valoración:</b>						<b>9</b>

<b>4. CONDICIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES</b>						<b>2 m</b>
<b>Persistencia de las discontinuidades</b>						
Rango de valores (m)	< 1	1 – 3	3 – 10	10 – 20	> 20	
Puntaje	6	4	2	1	0	
<b>Valoración:</b>						<b>3</b>
<b>Separación (apertura)</b>						<b>5 mm</b>
Rango de valores (mm)	Ninguno	< 0.1	0.1 – 1	1 – 5	> 5	
Puntaje	6	5	4	1	0	
<b>Valoración:</b>						<b>0</b>
<b>Rugosidad</b>						<b>SR</b>
Condición	Muy rugosa (VR)	Rugosa (R)	Ligeramente rugosa (SR)	Lisa (L)	Superficie pulida (SK)	
Puntaje	6	5	3	1	0	
<b>Valoración:</b>						<b>3</b>
<b>Relleno</b>						<b>2 mm</b>
Rango de valores (mm)	Ninguno	Duro < 5	Duro > 5	Blando < 5	Blando > 5	
Puntaje	6	4	2	2	0	
<b>Tipo de relleno: Meteorización</b>						<b>2</b>
Blando: <b>X</b> Duro: <b></b>						<b>HW</b>
Condición	No intemperizada (UW)	Ligeramente intemperizada (SW)	Moderadamente intemperizada (MW)	Altamente intemperizada (HW)	Completamente intemperizada (CW)	
Puntaje	6	5	3	1	0	
<b>Valoración:</b>						<b>1</b>

<b>5. CONDICIONES GENERALES DEL AGUA SUBTERRÁNEA</b>						<b>DM</b>
Condición	Completamente seca (CD)	Húmeda (DM)	Mojada (WT)	Goteo (DP)	Flujo (W)	
Puntaje	15	10	7	4	0	
<b>Valoración:</b>						<b>10</b>

<b>6. AJUSTE POR ORIENTACIÓN DE DISCONTINUIDADES</b>						<b>UF</b>
Orientaciones del rumbo y buzamiento		Muy Favorable (VF)	Favorable (FV)	Regular (FR)	Desfavorable (UF)	Muy desfavorable (VU)
Puntaje según el tipo de trabajo	Túneles y minas (T)	0	-2	-5	-10	-12
	Cimentaciones (F)	0	-2	-7	-15	-25
	Taludes (S)	0	-5	-25	-50	-60

**Indique el tipo de trabajo:** **F** **Valoración:** **-10**

VALOR DE RMR (ROCK MASS RATING)	
RMR Básico	: 40
RMR Ajustado	: 30
RMR <sub>89</sub> (condiciones secas y muy favorables)	: 45
Cohesión (c)	: 200 KPa
Angulo de fricción interna (°)	: 25°



**VALORACIÓN DEL MACIZO ROCOSO  
CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA DE BIENIAWSKI – RMR**

**PROYECTO:** “REGULACIÓN DEL RÍO PUMAMAYO – EGESG” **FECHA:** 15-11-2013  
**EMPRESA DE GENERACIÓN ELÉCTRICA SAN GABÁN S.A.** **REALIZADO:** J. Taype.  
**Estación:** EG – 9A (Eje del Túnel) **REVISADO:** W. Suaña

<b>1. RESISTENCIA DE LA ROCA INTACTA (Ensayo de Carga Puntual)</b>							<b>115.0 MPa</b>
Rango de valores (MPa)	> 250	100 – 250	50 – 100	25 – 50	5 – 25	1 – 5	< 1
Puntaje	15	12	7	4	2	1	0
<b>Valoración:</b>							<b>8</b>

<b>2. VALOR DE RQD (Rock Quality Index)</b>						<b>74 %</b>
Rango de valores (%)	90 – 100	75 – 90	50 – 75	25 – 50	< 25	
Puntaje	20	17	13	8	3	
<b>Valoración:</b>						<b>13</b>

<b>3. ESPACIADO DE LAS DISCONTINUIDADES</b>						<b>0.50 m</b>
Rango de valores (m)	> 2	0.6 – 2	0.2 – 0.6	0.06 – 0.2	< 0.06	
Puntaje	20	15	10	8	5	
<b>Valoración:</b>						<b>10</b>

<b>4. CONDICIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES</b>					
<b>Persistencia de las discontinuidades</b>					<b>3 m</b>
Rango de valores (m)	< 1	1 – 3	3 – 10	10 – 20	> 20
Puntaje	6	4	2	1	0
<b>Valoración:</b>					<b>2</b>
<b>Separación (apertura)</b>					<b>5 mm</b>
Rango de valores (mm)	Ninguno	< 0.1	0.1 – 1	1 – 5	> 5
Puntaje	6	5	4	1	0
<b>Valoración:</b>					<b>0</b>
<b>Rugosidad</b>					<b>R</b>
Condición	Muy rugosa (VR)	Rugosa (R)	Ligeramente rugosa (SR)	Lisa (L)	Superficie pulida (SK)
Puntaje	6	5	3	1	0
<b>Valoración:</b>					<b>5</b>
<b>Relleno</b>					<b>3 mm</b>
Rango de valores (mm)	Ninguno	Duro < 5	Duro > 5	Blando < 5	Blando > 5
Puntaje	6	4	2	2	0
<b>Tipo de relleno: Meteorización</b>					<b>2</b>
Blando: <span style="color: red;">X</span> Duro: <span style="background-color: #c8e6c9; border: 1px solid black; padding: 2px;"> </span>					<b>SW</b>
Condición	No intemperizada (UW)	Ligeramente intemperizada (SW)	Moderadamente intemperizada (MW)	Altamente intemperizada (HW)	Completamente intemperizada (CW)
Puntaje	6	5	3	1	0
<b>Valoración:</b>					<b>5</b>

<b>5. CONDICIONES GENERALES DEL AGUA SUBTERRÁNEA</b>						<b>DM</b>
Condición	Completamente seca (CD)	Húmeda (DM)	Mojada (WT)	Goteo (DP)	Flujo (W)	
Puntaje	15	10	7	4	0	
<b>Valoración:</b>						<b>10</b>

<b>6. AJUSTE POR ORIENTACIÓN DE DISCONTINUIDADES</b>						<b>FR</b>
Orientaciones del rumbo y buzamiento		Muy Favorable (VF)	Favorable (FV)	Regular (FR)	Desfavorable (UF)	Muy desfavorable (VU)
Puntaje según el tipo de trabajo	Túneles y minas (T)	0	-2	-5	-10	-12
	Cimentaciones (F)	0	-2	-7	-15	-25
	Taludes (S)	0	-5	-25	-50	-60

**Indique el tipo de trabajo:** F **Valoración:** **-5**

VALOR DE RMR (ROCK MASS RATING)	
RMR Básico	55
RMR Ajustado	50
RMR <sub>89</sub> (condiciones secas y muy favorables)	60
Cohesión (c)	275 KPa
Angulo de fricción interna (°)	33°

**VALORACIÓN DEL MACIZO ROCOSO  
CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA DE BIENIAWSKI – RMR**

**PROYECTO:** “REGULACIÓN DEL RÍO PUMAMAYO – EGESG” **FECHA:** 15-11-2013  
**EMPRESA DE GENERACIÓN ELÉCTRICA SAN GABÁN S.A.** **REALIZADO:** J. Taype.  
**Estación:** EG – 10A (Ingreso al Túnel) **REVISADO:** W. Suaña

<b>1. RESISTENCIA DE LA ROCA INTACTA (Ensayo de Carga Puntual)</b>							<b>37.0 MPa</b>
Rango de valores (MPa)	> 250	100 – 250	50 – 100	25 – 50	5 – 25	1 – 5	< 1
Puntaje	15	12	7	4	2	1	0
<b>Valoración:</b>							<b>3</b>

<b>2. VALOR DE RQD (Rock Quality Index)</b>						<b>56 %</b>
Rango de valores (%)	90 – 100	75 – 90	50 – 75	25 – 50	< 25	
Puntaje	20	17	13	8	3	
<b>Valoración:</b>						<b>9</b>

<b>3. ESPACIADO DE LAS DISCONTINUIDADES</b>						<b>0.20 m</b>
Rango de valores (m)	> 2	0.6 – 2	0.2 – 0.6	0.06 – 0.2	< 0.06	
Puntaje	20	15	10	8	5	
<b>Valoración:</b>						<b>8</b>

<b>4. CONDICIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES</b>						<b>3 m</b>
<b>Persistencia de las discontinuidades</b>						
Rango de valores (m)	< 1	1 – 3	3 – 10	10 – 20	> 20	
Puntaje	6	4	2	1	0	
<b>Valoración:</b>						<b>2</b>
<b>Separación (apertura)</b>						<b>20 mm</b>
Rango de valores (mm)	Ninguno	< 0.1	0.1 – 1	1 – 5	> 5	
Puntaje	6	5	4	1	0	
<b>Valoración:</b>						<b>0</b>
<b>Rugosidad</b>						<b>SR</b>
Condición	Muy rugosa (VR)	Rugosa (R)	Ligeramente rugosa (SR)	Lisa (L)	Superficie pulida (SK)	
Puntaje	6	5	3	1	0	
<b>Valoración:</b>						<b>3</b>
<b>Relleno</b>						<b>10 mm</b>
Rango de valores (mm)	Ninguno	Duro < 5	Duro > 5	Blando < 5	Blando > 5	
Puntaje	6	4	2	2	0	
<b>Tipo de relleno: Meteorización</b>						<b>0 HW</b>
Condición	No intemperizada (UW)	Ligeramente intemperizada (SW)	Moderadamente intemperizada (MW)	Altamente intemperizada (HW)	Completamente intemperizada (CW)	
Puntaje	6	5	3	1	0	
<b>Valoración:</b>						<b>1</b>

<b>5. CONDICIONES GENERALES DEL AGUA SUBTERRÁNEA</b>						<b>WT</b>
Condición	Completamente seca (CD)	Húmeda (DM)	Mojada (WT)	Goteo (DP)	Flujo (W)	
Puntaje	15	10	7	4	0	
<b>Valoración:</b>						<b>7</b>

<b>6. AJUSTE POR ORIENTACIÓN DE DISCONTINUIDADES</b>						<b>UF</b>
Orientaciones del rumbo y buzamiento		Muy Favorable (VF)	Favorable (FV)	Regular (FR)	Desfavorable (UF)	Muy desfavorable (VU)
Puntaje según el tipo de trabajo	Túneles y minas (T)	0	-2	-5	-10	-12
	Cimentaciones (F)	0	-2	-7	-15	-25
	Taludes (S)	0	-5	-25	-50	-60

**Indique el tipo de trabajo:** **F** **Valoración:** **-10**

VALOR DE RMR (ROCK MASS RATING)	
RMR Básico	: 33
RMR Ajustado	: 23
RMR <sub>89</sub> (condiciones secas y muy favorables)	: 41
Cohesión (c)	: 165 KPa
Angulo de fricción interna (°)	: 22°

1.7. ANEXO E: HOJA DE LEVANTAMIENTO GEOMECÁNICO



HOJA DE LEVANTAMIENTO GEOMECÁNICO

Universidad Nacional del Altiplano  
Facultad de Ingeniería de Minas  
Puno – 20 13

PROYECTO: REGULACIÓN DEL RÍO PUMAMAYO  
UBICACIÓN: MACUSANI – CARABAYA – PUNO

REALIZADO POR: J. TAYPE  
FECHA: 05-11-2013  
HOJA: 1/1

VALORACION DEL MACIZO ROCOSO (R.M.R.)	
RANGO DE VALORES	
VALOR ESTIMADO	VALORACION
50-100 (7)	25-50 (4) X
100-250 (12)	25-50 (8) X
75-90 (17)	0,06 m - 0,2 m (8)
90-100 (20)	0,06 m - 0,2 m (10) X
0,6 m - 2,0 m (15)	3-10 m (2)
1-3 m (6)	10-20 m (1)
<1 m (4)	1-5 mm (1)
Cerrada (6)	0,1-1,0 mm (4)
Muy rugosa (6)	Lig. Rugosa (5) X
Umbria (6)	Dura < 5 mm (2)
Sana (6)	Lig. Meteor. (3) X
Seco (15)	Muy Meteor. (1)
Húmedo (10) X	Mojado (7)
Gotaado (4)	
VALOR TOTAL RMR (Básico)	
(Suma de Valoración 1 a 5) = 40	

JUNTAS (m)	RQD (%)
2	98
3	96
4	94
5	91
6	88
7	84
8	81
9	77
10	74
11	70
12	66
13	63
14	59
15	56
16	52
17	49
18	46
19	43
20	41

Nº ESTACION	COORDENADAS NORTE	ESTE	TALUD DIRECCION	TRAMO DESDE	HASTA
EG-1A	8 443 907	353 666	NE-50	0	10 m
TIPO DE ROCA					
A	%	B	%	C	%
Lim	100				
TIPO DE RELENO					
TIPO	BUZ (DIP DIR)	ESPACIAMIENTO (DIP)	TIPO	RELENO	ESPESOR
J	92	77	3	Li, Ox	>5 mm
J	212	86	4	Li, Ox	>5 mm
E	280	40	4	Li, Ar	2 mm
E	275	30	3	Li, Ar	>5 mm
J	182	90	3	Li, Ox	>5 mm
J	30	86	4	Li	3 mm
J	33	80	3	Li	>5 mm
J	35	70	4	Li	2 mm
E	280	28	3	Li, Ar	>5 mm
E	272	36	3	Li, Ar	>5 mm
D	170	70	4	Li, Ox	>5 mm
D	182	82	3	Li, Ox	2 mm
D	165	85	4	Li, Ox	3 mm

EG-01 A

TIPO DE ROCA	TIPO DE RELENO
Caliza	Oxidado
Esquisto	Li
Arc	Ar
Arenisca	Bx
Ignimbrita	Silice
Ignimbrita	Arcilla
Rio	Si
Riolita	Vh
And	Junta
Andesita	E
	Estrato
	Fs
	Fisura

TIPO DE ESTRUCTURAS	ESPACIAMIENTO
D	> 2 m
Ct	0,6 m - 2 m
V	0,2 m - 0,6 m
	0,06 m - 0,2 m
	< 0,06 m

VALOR DE RESISTENCIA COMPRESION (MPa)
1.5 - 5.0
5.0 - 25
25 - 50
50 - 100
100 - 250
> 250

INDICE DE RESISTENCIA DE LA MATRIZ ROCOSA IDENTIFICACION DE CAMPO
R1
R2
R3
R4
R5
R6

GRADO	INDICE DE METEORIZACION DESCRIPCION
I SANA	Ningún signo de meteorización en el material rocoso. Quizás ligera decoloración sobre superficies de discontinuidades principales.
II LIGERO	La decoloración indica meteorización del material rocoso y superficie de discontinuidades. El material rocoso descompuesto extremadamente es más débil que en su condición sana.
III MODERADA	Menos de la mitad del macizo rocoso está descompuesto y/o desintegrado a un suelo. La roca sana o decolorada se presenta como un marco continuo o como núcleo rocoso.
IV MUY ALTERD.	Más de la mitad del macizo rocoso está descompuesto y/o desintegrado en suelo. La roca sana o decolorada se presenta como núcleo rocoso.
V DESCOMPL.	Todo el material rocoso está descompuesto y/o desintegrado en suelo. La estructura original de la masa rocosa aún se conserva intacta.



Universidad Nacional del Altiplano  
Facultad de Ingeniería de Minas  
Puno – 20 13

HOJA DE LEVANTAMIENTO GEOMECÁNICO



PROYECTO: REGULACIÓN DEL RÍO PUMAMAYO  
UBICACIÓN: MACUSANI – CARABAYA – PUNO

REALIZADO POR: J. TAYPE  
FECHA: 05-11-2013  
HOJA: 1/2

Nº ESTACIÓN	COORDENADAS		TALUD DIRECCIÓN	TRAMO DESDE	HASTA
	NORTE	ESTE			
EG-2A	8 443 929	353 665	-	0	10 m
TIPO DE ROCA					
A	%	B	%	C	%
Lim	100				12 a 15
OBSERVACIONES					
TIPO ESTRUCT.	DIB RUIZ (OP DIB)	BUZ (DIB)	RELENO		ESPACIAMIENTO
			TIPO	ESPEJOR	
J	189	55	3	Li, Ar	1 mm
J	192	65	3	Li, Ar	2 mm
J	183	65	4	Li, Ar	2 mm
J	177	61	3	Li	< 1 mm
J	270	72	4	Li	< 1 mm
J	265	81	4	Li	3 mm
J	290	82	3	Li	2 mm
E	286	30	4	Li, Ox	< 1 mm
J	282	60	3	Li	2 mm

JUNTAS (m)	RQD (%)
2	98
3	96
4	94
5	91
6	88
7	84
8	81
9	77
10	74
11	70
12	66
13	63
14	59
15	56
16	52
17	49
18	46
19	43
20	41

PARÁMETROS	RANGO DE VALORES										VALORACIÓN						
	VALOR ESTIMADO																
RESIST. COMP. UNIAX. (MPa)	> 250	(15)	100 - 250	(12)	50 - 100	(7)	25 - 50	(4)	X	< 25	(2)	< 5	(1)	< 1	(0)	1	4
ROD (%)	> 2 m	(20)	0.6 m - 2.0 m	(15)	0.2 m - 0.6 m	(10)	0.06 m - 0.2 m	(8)	X	< 25	(2)	< 0.06 m	(5)	(5)	(5)	3	8
ESPACIAMIENTO (m)	< 1 m	(6)	1 - 3 m	(4)	3 - 10 m	(2)	10 - 20 m	(1)	X	> 20	(0)	> 20	(0)	(0)	(0)	4A	2
CONDICIÓN DE APERTURA LAS JUNTAS	Muy rugosa	(6)	Rugosa	(6)	Lig. Rugosa	(3)	Lisa	(1)	X	Espejo de falla	(0)	> 5 mm	(0)	(0)	4B	1	1
RELENO	Limpia	(6)	Duro < 5 mm	(4)	Duro > 5 mm	(2)	Mod. Meteor.	(3)	X	Suave < 5 mm	(0)	Suave > 5 mm	(0)	(0)	4C	3	3
METEORIZACIÓN	Sana	(6)	Húmedo	(10)	X	Mojado	(4)	X	Descompuesta	(0)	Fluyendo	(0)	(0)	(0)	4E	1	1
AGUA SUBTERRÁNEA	Seco	(15)															
VALOR TOTAL RMR (Básico)																	
(Suma de Valoración 1 a 5) =																	
38																	

RMR	CLASE DE MACIZO ROCOSO (Según RMR Básico)				
	I	II	III	IV	V
100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	20 - 0	
I MUY BUENA	II BUENA	III REGULAR	IV MALA	V MUY MALA	
IV					

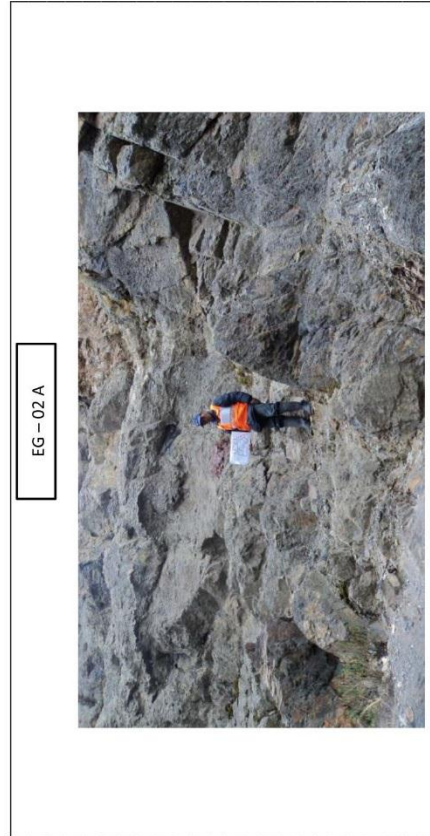
TIPO DE ROCA	TIPO DE RELENO
Caliza	Óxido
Granito	Li
Arc	Arena
Arenisca	Bx
Ignimbrita	Si
Ign	
Rio	
Cuarcita	
Limolita	
And	

TIPO DE ESTRUCTURAS	ESPACIAMIENTO
Vn	> 2 m
J	0.6 m - 2 m
E	0.2 m - 0.6 m
Fs	0.06 m - 0.2 m
	< 0.06 m

TIPO DE METEORIZACIÓN	DESCRIPCIÓN
I SANA	Ningún signo de meteorización en el material rocoso. Quizás ligera decoloración sobre superficies de discontinuidades principales.
II LIGERO	La decoloración indica meteorización del material rocoso y superficie de discontinuidades. El material rocoso descolorido extremadamente es más débil que en su condición sana.
III MODERADA	Menos de la mitad del macizo rocoso está descompuesto y/o desintegrado a un suelo. La roca sana o decolorada se presenta como un macizo continuo o como núcleo rocoso.
IV MUY ALTERED.	Más de la mitad del macizo rocoso está descompuesto y/o desintegrado en suelo. La roca sana o decolorada se presenta como núcleo rocoso.
V DESCOMPU.	Todo el material rocoso está descompuesto y/o desintegrado en suelo. La estructura original de la masa rocosa aún se conserva intacta.

GRADO	INDICE DE RESISTENCIA DE LA MATRIZ ROCOSA	VALOR DE RESISTENCIA COMPRESIÓN (MPa)
R1	Deleznable con golpes firmes con la punta del martillo de geólogo. Puede rasgarse con una navaja.	1.5 - 5.0
R2	Puede rasgarse con dificultad con una navaja. Se indenta superficialmente con la punta del martillo.	5.0 - 25
R3	No puede ser rasgado o pelado con una navaja. El espécimen se puede fracturar con un golpe firme del martillo.	25 - 50
R4	La muestra se rompe con más de un golpe del martillo.	50 - 100
R5	Se requiere muchos golpes de picota para fracturar la muestra.	100 - 250
R6	Solo se rompe esquinas de la muestra con el martillo	> 250

GRADO	INDICE DE METEORIZACIÓN	DESCRIPCIÓN
I SANA	Ningún signo de meteorización en el material rocoso. Quizás ligera decoloración sobre superficies de discontinuidades principales.	
II LIGERO	La decoloración indica meteorización del material rocoso y superficie de discontinuidades. El material rocoso descolorido extremadamente es más débil que en su condición sana.	
III MODERADA	Menos de la mitad del macizo rocoso está descompuesto y/o desintegrado a un suelo. La roca sana o decolorada se presenta como un macizo continuo o como núcleo rocoso.	
IV MUY ALTERED.	Más de la mitad del macizo rocoso está descompuesto y/o desintegrado en suelo. La roca sana o decolorada se presenta como núcleo rocoso.	
V DESCOMPU.	Todo el material rocoso está descompuesto y/o desintegrado en suelo. La estructura original de la masa rocosa aún se conserva intacta.	





Universidad Nacional del Altiplano  
Facultad de Ingeniería de Minas  
Puno – 20 13



HOJA DE LEVANTAMIENTO GEOMECÁNICO

PROYECTO: REGULACIÓN DEL RÍO PUMAMAYO  
UBICACIÓN: MACUSANI – CARABAYA – PUNO  
REALIZADO POR: J. TAYPE  
FECHA: 05-11-2017  
HOJA: 1/3

Nº ESTACIÓN	COORDENADAS		TALUD DIRECCIÓN	DESCRIPCIÓN	TRAMO DESDE HASTA
	NORTE	ESTE			
EG - 3A	8 443 964	353 674	-		0 10 m
TIPO DE ROCA					
A	%	B	%	C	%
DISC./ML. 10 a 15					
TIPO	DIR.BUZ. (DIP/DIR)	BUZ. (DIP)	OBSERVACIONES		
ESTRUC	ESPACIAMIENTO		RELENO		
E	276	30	4	LI, Ox	> 5 mm
J	95	82	3	LI, Ox	2 mm
J	87	74	4	LI, Ox	2 mm
J	205	84	3	LI, Ox	2 mm
J	201	85	3	LI, Ox	2 mm
D	23	80	4	LI	3 mm
D	20	79	3	LI	3 mm
E	250	43	4	LI, Ox	> 5 mm
J	280	86	4	LI, Ox	2 mm
J	210	89	3	LI, Ox	2 mm
J	35	76	4	LI, Ox	2 mm

JUNTAS (m)	RCD (%)
2	98
3	96
4	94
5	91
6	88
7	84
8	81
9	77
10	74
11	70
12	66
13	63
14	59
15	56
16	52
17	49
18	46
19	43
20	41

VALORACION DEL MACIZO ROCOSO (R.M.R.)									
RANGO DE VALORES									
VALOR ESTIMADO									
PARAMÉTRICOS	RESIST. COMP. UNIAX. (Mpa)	100 - 250 (12)	75 - 90 (17)	50 - 75 (13)	25 - 50 (4)	< 25 (2) / < 5 (1) / < 1 (0)	1	4	VALORACIÓN
	ROD (%)	90 - 100 (20)	75 - 90 (17)	50 - 75 (13)	25 - 50 (4)	< 25 (2) / < 5 (1) / < 1 (0)	1	4	
	ESPACIAMIENTO (m)	> 2 m (20)	0.6 m - 2.0 m (15)	0.2 m - 0.6 m (10)	0.05 m - 0.2 m (8)	< 0.06 m (5)	3	8	
	PERSISTENCIA	> 1 m (6)	1 - 3 m (4)	3 - 10 m (2)	10 - 20 m (1)	> 20 (0)	4A	2	
	CONDICIÓN DE LAS JUNTAS	Cerrada (6)	Muy rugosa (5)	Rugosa (4)	Lig. Rugosa (3)	Lisa (2)	0	4B	
	RELENO	Muy rugosa (6)	Rugosa (5)	Lig. Rugosa (4)	Lisa (3)	Espejo de falla (2)	0	4C	
	METEORIZACIÓN	Limpia (6)	Duro < 5 mm (4)	Duro > 5 mm (2)	Muy Meteor. (1)	Suave > 5 mm (0)	0	4D	
	AGUA SUBTERRÁNEA	Seca (6)	Húmedo (5)	Mojado (4)	Muy Meteor. (3)	Descompuesta (2)	0	4E	
		Seco (15)	Húmedo (10)	Mojado (7)	Gotando (4)	Fluyendo (0)	5	7	
VALOR TOTAL RMR (Básico)									
VALOR TOTAL RMR (Básico) = 35									

CLASE DE MACIZO ROCOSO (Según RMR Básico)				
RMR	100 - 81	80 - 61	60 - 41	20 - 0
DESCRIPCIÓN	I MUY BUENA	II BUENA	III REGULAR	IV MALA V MUY MALA

TIPO DE ROCA	
Clz	Caliza
Gr	Granito
Adm	Adamelita
Cua	Cuarcita
Lim	Limolita
Ox	Óxido
Ar	Arena
Arc	Arcilla
Esq	Esquisto
Arc	Arenisca
Ign	Ignimbrita
Rio	Riolita
And	Andesita

TIPO DE RELENO	
Li	Limos
Bx	Brecha
Si	Silice

TIPO DE ESTRUCTURAS	
Vn	Ventilla
J	Junta
E	Estrato
Fs	Fisura

ESPACIAMIENTO	
Clz	> 2 m
Gr	0.6 m - 2 m
Adm	0.2 m - 0.6 m
Cua	0.06 m - 0.2 m
Lim	< 0.06 m

ÍNDICE DE RESISTENCIA DE LA MATRIZ ROCOSA	
GRADO	VALOR DE RESISTENCIA COMPRESIÓN (MPa)
R1	Deletable con golpes firmes con la punta del martillo de geólogo. Puede rasgarse con una navaja. 1.5 - 5.0
R2	Puede rasparse con dificultad con una navaja. Se indenta superficialmente con la punta del martillo. 5.0 - 25
R3	No puede ser rasgado o pelado con una navaja. El espécimen se puede fracturar con un golpe firme del martillo. 25 - 50
R4	La muestra se rompe con un golpe del martillo. 50 - 100
R5	Se requiere muchos golpes de picota para fracturar la muestra. 100 - 250
R6	Solo se rompe esquirlas de la muestra con el martillo > 250

ÍNDICE DE METEORIZACIÓN	
GRADO	DESCRIPCIÓN
I SANA	Ningún signo de meteorización en el material rocoso. Quizás ligera decoloración sobre superficies de discontinuidades principales.
II LIGERO	La decoloración indica meteorización del material rocoso y superficie de discontinuidades. El material rocoso decolorado extremadamente es más débil que en su condición sana.
III MODERADA	Menos de la mitad del macizo rocoso está descompuesto y/o desintegrado a un suelo. La roca sana o decolorada se presenta como un marco continuo o como núcleo rocoso.
IV MUY ALTERO.	Más de la mitad del macizo rocoso está descompuesto y/o desintegrado en suelo. La roca sana o decolorada se presenta como núcleo rocoso.
V DESCOMPU.	Todo el material rocoso está descompuesto y/o desintegrado en suelo. La estructura original de la masa rocosa aún se conserva intacta.





Universidad Nacional del Altiplano  
Facultad de Ingeniería de Minas  
Puno – 20 13

HOJA DE LEVANTAMIENTO GEOMECÁNICO



PROYECTO: REGULACIÓN DEL RÍO PUMAMAYO  
UBICACIÓN: MACUSANI – CARABAYA – PUNO

REALIZADO POR: J. TAYPE  
FECHA: 05-11-2013  
HOJA: 1/4

Nº ESTACIÓN	COORDENADAS		TALUD DIRECCIÓN	DESDE	HASTA	TRAMO	
	NORTE	ESTE					
EG-4A	8 443 910	353 676	-	0	10 m		
TIPO DE ROCA							
A	%	B	%	C	%	DISC./mL	
Lim	100					10 a 12	
OBSERVACIONES							
TIPO ESTRUCC.	DIR BUZ. (DIP DIR)	BUZ. (DIP)	RELENO			ESPAZAMIENTO	ESPESOR
			TIPO	ESPESOR	ESPESOR		
E	295	45	4	Li, Ox	> 5 mm		
E	287	35	3	Li, Ox	> 5 mm		
J	117	74	4	Li	10 mm		
J	116	55	4	Li	10 mm		
J	59	70	3	Li	8 mm		
J	55	65	4	Li	8 mm		
J	192	80	3	Li	> 5 mm		
J	130	60	3	Li	> 5 mm		
J	110	55	3	Li	8 mm		

JUNTAS (ml)	ROD (%)
2	96
3	96
4	94
5	91
6	88
7	84
8	81
9	77
10	74
11	70
12	66
13	63
14	59
15	56
16	52
17	49
18	46
19	43
20	41

PARÁMETROS	RANGO DE VALORES															VALORACION
	VALOR ESTIMADO															
RESIST. COMP. UNIAJ. (MPa)	> 250	(15)	100-250	(12)	50-100	(7)	25-50	(4)	< 25	(2); < 5	(1); < 1	(0)	1	4		
ROD (%)	90-100	(20)	75-90	(17)	50-75	(13)	25-50	(8)	< 25	(2); < 5	(1); < 1	(0)	2	8		
ESPAZAMIENTO (m)	> 2 m	(20)	0.6 m - 2.0 m	(15)	0.2 m - 0.6 m	(10)	0.06 m - 0.2 m	(8)	< 0.06 m	(2); < 5	(1); < 1	(0)	3	8		
PERSISTENCIA	< 1 m	(6)	1-3 m	(4)	3-10 m	(2)	10-20 m	(1)	> 20	(0)			4A	2		
APERTURA	Conrada	(6)	< 0.1 mm	(5)	0.1-1.0 mm	(4)	1-5 mm	(1)	> 5 mm	(0)	X	4B	0			
CONDICIÓN DE LAS JUNTAS	Muy rugosa	(6)	Rugosa	(5)	Lig. rugosa	(3)	Lisa	(1)	Espejo de falla	(0)		4C	5			
RELENO	Limpia	(6)	Duro < 5 mm	(4)	Mod. Meteor.	(3)	Suave < 5 mm	(1)	Descompuesta	(0)	X	4E	1			
METEORIZACION	Sana	(6)	Húmedo	(10)	X	Mojado	(7)	Goteando	(4)			5	10			
AGUA SUBTERRÁNEA	Seco	(15)														
VALOR TOTAL RMR (Básico)																

RMR	CLASE DE MACIZO ROCOSO (Según RMR Básico)	VALOR ESTIMADO	VALORACION
100-81	I MUY BUENA	60-41	IV
80-61	II BUENA	40-21	V
40-21	III REGULAR	20-0	MUY MALA

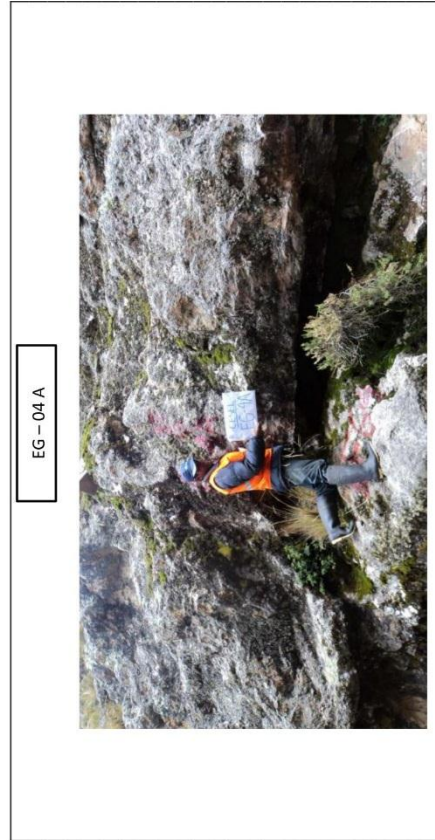
GRADO	ÍNDICE DE RESISTENCIA DE LA MATRIZ ROCOSA	IDENTIFICACIÓN DE CAMPO	VALOR DE RESISTENCIA COMPRESIÓN (MPa)
R2	Puede rasgarse con dificultad con una navaja. Se indenta superficialmente con la punta del martillo.	5.0 - 25	
R3	No puede ser rasgado o pelado con una navaja. El espécimen se puede fracturar con un golpe firme del martillo.	25 - 50	
R4	La muestra se rompe con más de un golpe del martillo.	50 - 100	
R5	Se requiere muchos golpes de picota para fracturar la muestra.	100 - 250	
R6	Solo se rompe esquirlas de la muestra con el martillo	> 250	

GRADO	ÍNDICE DE METEORIZACION	DESCRIPCIÓN
II LIGERO	La decoloración indica meteorización del material rocoso y superficie de discontinuidades. El material rocoso desmenuado extremadamente es más débil que en su condición sana.	
III MODERADA	Menos de la mitad del macizo rocoso está descompuesto y/o desintegrado a un suelo. La roca sana o decolorada se presenta como un marco continuo o como núcleo rocoso.	
IV MUY ALTERD.	Más de la mitad del macizo rocoso está descompuesto y/o desintegrado en suelo. La roca sana o decolorada se presenta como núcleo rocoso.	
V DESCOMPU.	Todo el material rocoso está descompuesto y/o desintegrado en suelo. La estructura original de la masa rocosa aún se conserva intacta.	

TIPO DE ROCA	TIPO DE RELENO
Caliza	Oñido
Granito	Arena
Arc	Arcilla
Esquistos	Si
Arenisca	Vn
Ignimbrita	J
Rio	F
Riofita	E
Andesita	Fs
And	Fisura

TIPO DE ESTRUCTURAS	ESPAZAMIENTO
D	> 2 m
F	0.6 m - 2 m
Q	0.2 m - 0.6 m
V	0.06 m - 0.2 m
Fisura	< 0.06 m

TIPO DE RELENO	TIPO DE ESTRUCTURAS	ESPAZAMIENTO
Ox	Vn	> 2 m
Ar	J	0.6 m - 2 m
Arc	F	0.2 m - 0.6 m
Si	E	0.06 m - 0.2 m
Si	Fs	< 0.06 m
Si	Fisura	< 0.06 m







HOJA DE LEVANTAMIENTO GEOMECÁNICO

Universidad Nacional del Altiplano  
Facultad de Ingeniería de Minas  
Puno – 2013

PROYECTO: REGULACIÓN DEL RÍO PUMAMAYO  
UBICACIÓN: MACUSANI – CARABAYA – PUNO  
REALIZADO POR: J. TAYPE  
FECHA: 05-11-2013  
HOJA: 1/6

VALORACION DEL MACIZO ROCOSO (R.M.R.)	
PARÁMETROS	RANGO DE VALORES
RESIST. COMP. UNIAK. (MPa)	50 – 100 (7)
ROD (%)	50 – 75 (13)
ESPACIAMIENTO (m)	0.2 m – 0.6 m (10)
PERSISTENCIA	3 – 10 m (2)
APERTURA	0.1 – 1.0 mm (4)
CONDICIÓN DE LAS JUNTAS	Lig. Rugosa (3)
RELLENO	Duro < 5 mm (2)
METEORIZACIÓN	Lig. Meteor. (3)
AGUA SUBTERRÁNEA	Húmedo (10)

VALOR ESTIMADO	
< 25 (2); < 5 (1); < 1 (0)	1
< 25 (2); < 5 (1); < 1 (0)	2
< 0.06 m	3
> 20	4
> 5 mm	4B
Espejo de falla	4C
Suave > 5 mm	4D
Muy Meteor.	4E
Descompuesta	4F
Fluyendo	5
Gotando	4
Mojado	7
Muy Meteor.	3
Mod. Meteor.	3
Duro < 5 mm	2
Lig. Rugosa	3
< 0.1 mm	5
1 – 3 m	15
0.6 m – 2.0 m	15
75 – 90	17
100 – 250	12
100 – 250	12
75 – 90	17
50 – 100	7
50 – 75	13
25 – 50	8
25 – 50	8
0.06 m – 0.2 m	8
10 – 20 m	11
3 – 10 m	2
0.1 – 1.0 mm	4
1 – 5 mm	1
Lig. Rugosa	3
Uta	1
1 – 5 mm	1
Espejo de falla	0
Suave > 5 mm	0
Muy Meteor.	0
Mod. Meteor.	0
Duro < 5 mm	0
Lig. Meteor.	0
Húmedo	0
Mojado	0
Gotando	0
Fluyendo	0

VALOR TOTAL RMR (Básico)

(Suma de Valoración 1 a 5) = 32

CLASE DE MACIZO ROCOSO (Según RMR Básico)	
100 - 81	I MUY BUENA
80 - 61	II BUENA
60 - 41	III REGULAR
40 - 21	IV MALA
20 - 0	V MUY MALA

IV

JUNTAS (m)	ROD (%)
2	98
3	96
4	94
5	91
6	88
7	84
8	81
9	77
10	74
11	70
12	66
13	63
14	59
15	56
16	52
17	49
18	46
19	43
20	41

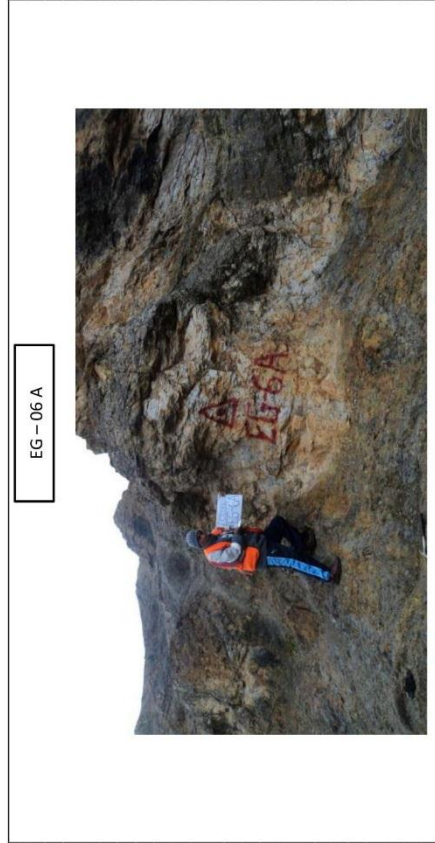
Nº ESTACIÓN	COORDENADAS NORTE	ESTE	TALUD DIRECCIÓN	TRAMO DESDE	HASTA
EG - 0A	8 443 881	353 043	-	0	10 m
TIPO DE ROCA					
A	%	B	%	C	%
Lim	100				15 a 20
OBSERVACIONES					
TIPO ESTRUCC.	DIR BUZ (DIP DIR)	BUZ (DIP)	ESPACIAMIENTO	RELLENO	ESPESOR
E	273	39	3	Li, Ox	2 mm
E	277	33	4	Li, Ox	2 mm
J	40	88	3	Li	2 mm
J	14	82	3	Li	< 1 mm
E	279	30	3	Li, Ox	2 mm
J	180	79	4	Li	2 mm
E	269	53	3	Li, Ox	2 mm
J	5	88	3	Li	< 1 mm
J	355	83	3	Li	2 mm
J	52	82	4	Li	2 mm

TIPO DE ROCA	TIPO DE RELLENO
Caliza	Oxido
Granito	Li
Arenisca	Bx
Ignimbrita	Si
Riolita	Limos
Andesita	Brechta
	Silice

TIPO DE ESTRUCTURAS	ESPACIAMIENTO
Vn	> 2 m
Junta	0.6 m – 2 m
Estrato	0.2 m – 0.6 m
Fisura	0.06 m – 0.2 m
	< 0.06 m

GRADO	INDICE DE RESISTENCIA DE LA MATRIZ ROCOSA IDENTIFICACIÓN DE CAMPO	VALOR DE RESISTENCIA COMPRESIÓN (MPa)
R1	Delembable con golpes firmes con la punta del martillo de geólogo. Puede rasgarse con una navaja.	1.5 – 5.0
R2	Puede rasgarse con dificultad con una navaja. Se indenta superficialmente con la punta del martillo.	5.0 – 25
R3	No puede ser rasgado o pelado con una navaja. El espécimen se puede fracturar con un golpe firme del martillo.	25 – 50
R4	La muestra se rompe con más de un golpe del martillo.	50 – 100
R5	Se requiere muchos golpes de picota para fracturar la muestra.	100 – 250
R6	Solo se rompe esquivar de la muestra con el martillo	> 250

GRADO	INDICE DE METEORIZACION DESCRIPCIÓN
I SANA	Ninguna signo de meteorización en el material rocoso. Quizás ligera decoloración sobre superficies de discontinuidades principales.
II LIGERO	La decoloración indica meteorización del material rocoso y superficie de discontinuidades. El material rocoso descolorido extremadamente es más débil que en su condición sana.
III MODERADA	Menos de la mitad del macizo rocoso está descompuesto y/o desintegrado a un suelo. La roca sana o decolorada se presenta como un marco continuo o como núcleo rocoso.
IV MUY ALTERD.	Más de la mitad del macizo rocoso está descompuesto y/o desintegrado en suelo. La roca sana o decolorada se presenta como núcleo rocoso.
V DESCOMPU.	Todo el material rocoso está descompuesto y/o desintegrado en suelo. La estructura original de la masa rocosa aún se conserva íntacta.



EG - 06 A







Universidad Nacional del Altiplano  
Facultad de Ingeniería de Minas  
Puno – 2013

HOJA DE LEVANTAMIENTO GEOMECÁNICO



PROYECTO: REGULACIÓN DEL RÍO PUMAMAYO  
UBICACIÓN: MACUSANI – CARABAYA – PUNO

REALIZADO POR: J. TAYPE  
FECHA: 05-11-2013  
HOJA: 1/8

Nº ESTACIÓN	COORDENADAS		TALUD DIRECCIÓN	TRAMO		
	NORTE	ESTE		DESDE	HASTA	
EG – 8A	8 443 953	353 694	-	0	10 m	
TIPO DE ROCA						
A	%	B	%	C	%	
FREC. FRACTURA						
DISEC./m.						
10 a 12						
TIPO ESTRUCT.	DIR BUZ (DIP DIR)	BUZ	ESPACIAMIENTO	TIPO RELLENO	ESPESOR	OBSERVACIONES
E	284	50	3	Li, Ox	5 mm	
E	276	42	3	Li, Ox	5 mm	
J	43	77	4	Li, Ar	< 1 mm	
J	41	72	3	Li, Ar	2 mm	
J	88	66	3	Li, Ar	2 mm	
D	170	73	3	Li	5 mm	
D	183	70	3	Li	5 mm	
J	193	79	4	Li	2 mm	
J	180	72	3	Li	2 mm	
J	120	59	3	Li	1 mm	
J	120	58	3	Li	< 1 mm	
Fs	44	77	4	Li	3 cm	
Fs	42	85	3	Li	3 cm	

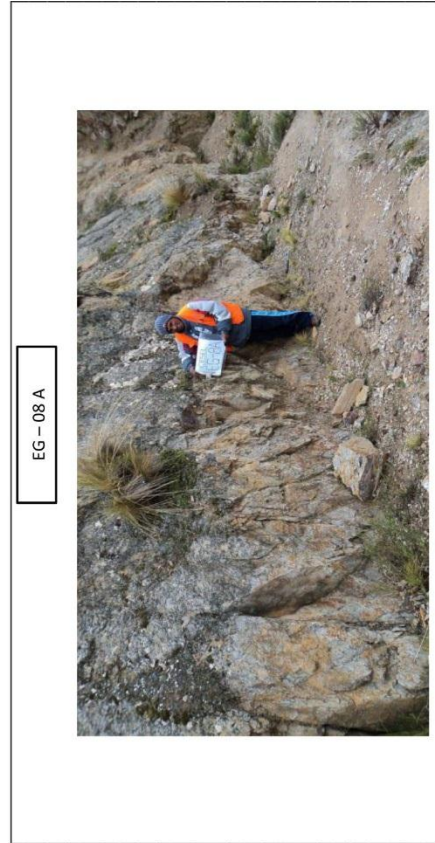
JUNTAS (ml)	ROD (%)
2	98
3	96
4	94
5	91
6	88
7	84
8	81
9	77
10	74
11	70
12	66
13	63
14	59
15	56
16	52
17	49
18	46
19	43
20	41

PARÁMETROS	RANGO DE VALORES															VALORACION
	VALOR ESTIMADO															
RESIST. COMP. UNIAJ. (MPa)	> 250	(15)	100 – 250	(12)	50 – 100	(7)	25 – 50	(4)	< 25	(2); < 5	(1); < 1	(0)	1	4		
ROD (%)	90 – 100	(20)	75 – 90	(17)	50 – 75	(13)	25 – 50	(8)	< 25	(2); < 5	(1); < 1	(0)	2	8		
ESPACIAMIENTO (m)	> 2 m	(20)	0.6 m – 2.0 m	(15)	0.2 m – 0.6 m	(10)	0.06 m – 0.2 m	(8)	< 0.06 m	(2); < 5	(1); < 1	(0)	3	8		
PRESISTENCIA	< 1 m	(6)	1 – 3 m	(4)	3 – 10 m	(2)	10 – 20 m	(1)	> 20	(0)			4A	4		
APERTURA	Cerrada	(6)	< 0.1 mm	(5)	0.1 – 1.0 mm	(4)	1 – 5 mm	(1)	> 5 mm	(0)			4B	1		
CONDICIÓN DE LAS JUNTAS	Muy rugosa	(6)	Rugosa	(5)	Lig. Rugosa	(3)	Lisa	(1)	Espejo de falla	(0)			4C	3		
RELLENO	Limpia	(6)	Duro < 5 mm	(4)	Duro > 5 mm	(2)	Muy Meteor.	(1)	Descompuesta	(0)			4D	1		
METEORIZACIÓN	Sana	(6)	Lig. Meteor.	(5)	Mod. Meteor.	(3)	Muy Meteor.	(1)	Descompuesta	(0)			4E	1		
AGUA SUBTERRANEA	Seco	(15)	Húmedo	(10)	Mojado	(7)	Goteando	(4)	Fluyendo	(0)			5	10		
VALOR TOTAL RMR (Básico)																
(Suma de Valoración 1 a 5) = <b>40</b>																

RMR	CLASE DE MACIZO ROCOSO (Según RMR Básico)				
	I MUY BUENA	II BUENA	III REGULAR	IV MALA	V MUY MALA
100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	20 - 0	
<b>IV</b>					

TIPO DE ROCA	TIPO DE RELLENO
Ctz	Óxido
Gr	Arena
Adm	Arcilla
Cua	Limos
Lim	Brecha
	Silice

TIPO DE ESTRUCTURAS	ESPACIAMIENTO
D	Vn
F	Junta
Ct	Estrato
V	Fisura
	> 2 m
	0.6 m – 2 m
	0.2 m – 0.6 m
	0.06 m – 0.2 m
	< 0.06 m



GRADO	INDICE DE RESISTENCIA DE LA MATRIZ ROCOSA	VALOR DE RESISTENCIA COMPRESIÓN (MPa)
R1	Detenable con golpes firmes con la punta del martillo de geólogo. Puede rasgarse con una navaja.	1.5 – 5.0
R2	Puede rasgarse con dificultad con una navaja. Se indenta superficialmente con la punta del martillo.	5.0 – 25
R3	No puede ser rasgado o pelado con una navaja. El espécimen se puede fracturar con un golpe firme del martillo.	25 – 50
R4	La muestra se rompe con más de un golpe del martillo.	50 – 100
R5	Se requiere muchos golpes de piloto para fracturar la muestra.	100 – 250
R6	Solo se rompe esquinas de la muestra con el martillo.	> 250

GRADO	INDICE DE METEORIZACIÓN
I SANA	DESCRIPCIÓN
II LIGERO	Ningún signo de meteorización en el material rocoso. Quizás ligera decoloración sobre superficies de discontinuidades principales.
III MODERADA	La decoloración indica meteorización del material rocoso y superficie de discontinuidades. El material rocoso descolorido extensamente es más débil que en su condición sana.
IV MUY ALTERD.	Menos de la mitad del macizo rocoso está desintegrado y/o desintegrado a un suelo. La roca sana o decolorada se presenta como un marco continuo o como núcleo rocoso.
V DESCOMPU.	Más de la mitad del macizo rocoso está descompuesto y/o desintegrado en suelo. La roca sana o decolorada se presenta como núcleo rocoso. Todo el material rocoso está descompuesto y/o desintegrado en suelo. La estructura original de la masa rocosa aún se conserva intacta.





Universidad Nacional del Altiplano  
Facultad de Ingeniería de Minas  
Puno – 20 13

HOJA DE LEVANTAMIENTO GEOMECÁNICO



PROYECTO: REGULACIÓN DEL RÍO PUMAMAYO  
UBICACIÓN: MACUSANI – CARABAYA – PUNO

REALIZADO POR: J. TAYPE  
FECHA: 05-11-2013  
HOJA: 1/10

VALORACION DEL MACIZO ROCOSO (R.M.R.)	
PARAMETROS	VALOR ESTIMADO
RESIST. COMP. UNIAX. (MPa)	> 250 (15) 100 – 250 (12) 75 – 90 (17) 50 – 100 (7) 25 – 50 (4) < 25 (2); < 5 (1); < 1 (0)
ROD (%)	90 – 100 (20) 75 – 90 (17) 50 – 75 (13) 25 – 50 (8) < 25 (3)
ESPACIAMIENTO (m)	> 2 m (6) 0.6 m – 2.0 m (15) 0.2 m – 0.6 m (10) 0.06 m – 0.2 m (8) < 0.06 m (5) > 20 (0)
PERSISTENCIA	< 1 m (6) 1 – 3 m (4) 3 – 10 m (2) 10 – 20 m (1) > 20 (0)
APERTURA	Cerrada (6) < 0.1 mm (5) 0.1 – 1.0 mm (4) 1 – 5 mm (1) > 5 mm (0)
CONDICION DE LAS JUNTAS	Muy rugosa (6) Rugosa (5) Lig. Rugosa (3) Lisa (2) Espejo de falla (0) Suave > 5 mm (0) Duro < 5 mm (4) Mod. Meteor. (3) Muy Meteor. (1) Descompuesta (0) MeteORIZACION Sana (6) Lig. Meteor. (5) Mod. Meteor. (3) Muy Meteor. (1) Goteando (4) Fijando (0) Seco (15) Húmedo (10) Mojado (7) Fluyendo (0)
AGUA SUBTERRANEA	Seco (15) Húmedo (10) Mojado (7) Fluyendo (0)
VALOR TOTAL RMR (Básico)	
34	

CLASE DE MACIZO ROCOSO (Según RMR Básico)	
RMR	DESCRIPCION
100 - 81	I MUY BUENA
80 - 61	II BUENA
60 - 41	III REGULAR
40 - 21	IV MALA
20 - 0	V MUY MALA
IV	

JUNTAS (mil)	ROD (%)
2	98
3	96
4	94
5	91
6	88
7	84
8	81
9	77
10	74
11	70
12	66
13	63
14	59
15	56
16	52
17	49
18	46
19	43
20	41

Nº ESTACION	COORDENADAS		TALUD DIRECCION	TRAMO	
	NORTE	ESTE		DESDE	HASTA
EG – 10A	8 444 049	353 658	-	0	10 m
TIPO DE ROCA					
A	%	B	%	C	%
FREC. FRACTURA					
10 a 12					
TIPO	DIR BUZ (OP DIR)	BUZ (OP DIR)	ESPACIAMIENTO	RELLENO	OBSERVACIONES
E	284	50	3	Li, Ar > 5 mm	
E	283	41	4	Li, Ar > 5 mm	
E	292	44	3	Li, Ar 2 mm	
J	218	76	4	Li, Ox > 5 mm	
J	87	73	3	Li, Ox > 5 mm	
J	214	83	3	Li, Ox 3 mm	
J	315	90	3	Li, Ox > 5 mm	
J	93	68	4	Li, Ox 2 mm	
J	27	63	3	Li, Ox > 5 mm	
J	30	63	4	Li, Ox > 5 mm	

GRADO	INDICE DE RESISTENCIA DE LA MATRIZ ROCOSA	
	IDENTIFICACION DE CAMPO	VALOR DE RESISTENCIA COMPRESION (MPa)
R1	Difícil con golpes firmes con la punta del martillo de geólogo. Puede rasgarse con una navaja.	1.5 – 5.0
R2	Puede rasgarse con dificultad con una navaja. Se indenta superficialmente con la punta del martillo.	5.0 – 25
R3	No puede ser rasgado o pelado con una navaja. El espécimen se puede fracturar con un golpe firme del martillo.	25 – 50
R4	La muestra se rompe con más de un golpe del martillo.	50 – 100
R5	Se requiere muchos golpes de pico para fracturar la muestra.	100 – 250
R6	Solo se rompe esquirlas de la muestra con el martillo	> 250

GRADO	INDICE DE METEORIZACION	
	DESCRIPCION	VALOR DE RESISTENCIA COMPRESION (MPa)
I SANA	Ningún signo de meteorización en el material rocoso. Quizás ligera decoloración sobre superficies de discontinuidades principales.	1.5 – 5.0
II LIGERO	La decoloración indica meteorización del material rocoso y superficie de discontinuidades. El material rocoso decolorado extremadamente es más débil que en su condición sana.	5.0 – 25
III MODERADA	Menos de la mitad del macizo rocoso está descompuesto y/o desintegrado a un suelo. La roca sana o decolorada se presenta como un marco continuo o como núcleo rocoso.	25 – 50
IV MUY ALTERD.	Más de la mitad del macizo rocoso está descompuesto y/o desintegrado en suelo. La roca sana o decolorada se presenta como núcleo rocoso.	50 – 100
V DESCOMPU.	Todo el material rocoso está descompuesto y/o desintegrado en suelo. La estructura original de la masa rocosa aún se conserva intacta.	> 250

TIPO DE ROCA	
Ciz	Caliza
Gr	Granito
Adm	Adamelta
Cua	Cuarcita
Lim	Limolita
Esq	Esquisto
Arc	Arenisca
Ign	Ignimbrita
Rio	Riolita
And	Andesita
Limos	Limos
Bx	Brecha
Si	Silice
Vh	Venilla
Junta	Junta
E	Estrato
Fs	Fisura

TIPO DE ESTRUCTURAS	
D	Diaclasa
F	Falla
Ct	Contacto
V	Veta
Ciz	Caliza
Gr	Granito
Adm	Adamelta
Cua	Cuarcita
Lim	Limolita

EG – 10 A



TIPO DE RELLENO	
Ox	Óxido
Ar	Arcilla
Arc	Arcilla
Vh	Venilla
Junta	Junta
E	Estrato
Fs	Fisura

ESPACIAMIENTO	
Ciz	> 2 m
Gr	0.6 m – 2 m
Adm	0.2 m – 0.6 m
Cua	0.06 m – 0.2 m
Lim	< 0.06 m

## 1.8 ANEXO F: PLANOS

- MAPA DE UBICACIÓN CON LA IMAGEN SATELITAL.
- PRESA PUMAMAYO TÚNEL DE DESVIO Y OPERACIÓN PLANTA Y PERFIL LONGITUDINAL.
- PRESA PUMAMAYO TÚNEL DE DESVIO Y OPERACIÓN PORTAL DE ENTRADA – PLANTA Y SECCIONES.
- PRESA PUMAMAYO TÚNEL DE DESVIO Y OPERACIÓN PORTAL DE SALIDA PLANTA Y SECCIÓN.
- PLANO DE INVESTIGACIONES GEOTÉCNICAS PARA INTERPRETACIÓN ZONA PRESA – TÚNEL – ALIVIADERO.

**Planos**

**04\_CSL-107700-CT-01**

**05\_CSL-107700-HD-201**

**06\_CSL-107700-HD-203**

**07\_CSL-107700-HD-204**

**08\_CSL-107700-GT-001**