



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA Y**  
**METALÚRGICA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA**



**INFLUENCIA DE LA LITOLOGÍA ALTERADA EN LAS**  
**CARACTERÍSTICAS FÍSICO MECÁNICAS DEL TAJO JESSICA,**  
**MINA ARASI, LAMPA-PUNO**

**TESIS**

**PRESENTADA POR:**

**Bach. REYNA ISABEL ILLANES SUCASACA**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO GEÓLOGO**

**PUNO – PERÚ**

**2022**



## DEDICATORIA

*Dedico con todo mi corazón primeramente a Dios por otorgarme la vida y a mis padres Leonardo Illanes y Felicitas Sucasaca, por ser los pilares de mi vida, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien y por su amor apoyándome en todo momento con sus consejos y sus valores.*

*A mi esposo Deivis, por su cariño y afecto y a mis hermanos Fidel y Jhony por darme su apoyo.*

*A toda mi familia por su apoyo constante e incondicional.*

***Reyna Isabel***



## AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradezco a Dios por darme la bendición de cada día.

A mis padres y hermanos por toda la paciencia, esfuerzo, sacrificio y por darme su apoyo constante y aliento moral en los momentos más difíciles y por su gran paciencia en los tiempos de estudios, que han sido muy importantes para mi formación profesional.

A mi Alma Mater, “UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO”, en especial a la Escuela Profesional de Ingeniería Geológica; por la formación Académico Profesional brindada. a los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Geológica de quienes recibí la formación académica.

A la Empresa ARASI SAC, por haber permitido desempeñarme como profesional en el área de geología mina y geotecnia. Al Ing. Editta Herrera, por brindarme facilidades para desarrollar la presente tesis. Al Ing. Miguel Chupillon Rojas por impartirme sus conocimientos y enseñanzas en campo, Ing. Gustavo, Ing Edwin por su apoyo.

A mi asesor de tesis al M.Sc. Roger Gonzales Aliaga por su apoyo y sugerencias en la elaboración y culminación de esta tesis.



# ÍNDICE GENERAL

**DEDICATORIA**

**AGRADECIMIENTOS**

**ÍNDICE GENERAL**

**ÍNDICE DE FIGURAS**

**ÍNDICE DE ACRÓNIMOS**

**RESUMEN ..... 17**

**ABSTRACT..... 18**

## **CAPÍTULO I**

### **INTRODUCCIÓN**

**1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA..... 19**

**1.2. HIPÓTESIS GENERAL ..... 21**

1.2.1. Hipótesis específicas ..... 21

**1.3. OBJETIVO GENERAL ..... 21**

1.3.1. Objetivos específicos ..... 21

## **CAPÍTULO II**

### **REVISIÓN DE LITERATURA**

**2.1. DEPÓSITOS EPITERMALES..... 22**

**2.2. ALTERACIONES DE LA ALTA SULFURACIÓN ..... 23**

2.2.1. Alteración cuarzo oqueroso (*vuggy silica*)..... 24

2.2.2. Alteración argílica avanzada ..... 24

2.2.3. Alteración argílica ..... 25

2.2.4. Alteración propilítica ..... 25

**2.3. MACIZO ROCOSO..... 26**

**2.4. CRITERIOS DE EVALUACIÓN GEOMECÁNICA DEL MACIZO  
ROCOSO ..... 28**



2.4.1.	Sistema de Clasificación RMR de Bieniawski.....	29
2.4.2.	Resistencia a la Compresión Uniaxial.....	30
2.4.2.1.	Martillo Schmidt (esclerómetro) .....	30
2.4.2.2.	Procedimiento de medida .....	30
2.4.3.	Designación de la calidad de roca RQD .....	32
2.4.4.	Espaciamiento de discontinuidades.....	33
2.4.5.	Estado de las discontinuidades .....	34
2.4.5.1.	Persistencia.....	34
2.4.5.2.	Apertura.....	35
2.4.5.3.	Rugosidad.....	36
2.4.5.4.	Relleno .....	37
2.4.5.5.	Meteorización.....	38
2.4.6.	Presencia de agua .....	39
2.4.7.	Orientación de discontinuidades .....	40
<b>2.5.</b>	<b>SISTEMA DE CLASIFICACIÓN GSI (GEOLOGICAL STRENGTH INDEX).....</b>	<b>41</b>
<b>2.6.</b>	<b>FACTOR DE SEGURIDAD .....</b>	<b>43</b>
<b>2.7.</b>	<b>CIRCUNSCRIPCIÓN GEOLÓGICA DEL ÁREA DE ESTUDIO .....</b>	<b>44</b>
2.7.1.	Sistema Terciario .....	45
2.7.1.1.	Grupo Tacaza (PgN-tac) .....	45
2.7.1.2.	Grupo Palca (N-pa) .....	46
2.7.1.3.	Grupo Sillapaca (Ni-si) .....	46
2.7.2.	Sistema Cuaternario .....	47
2.7.2.1.	Depósitos Morrénicos (Q-mo) .....	47
2.7.2.2.	Depósitos Hidromórficos (Q-b) .....	48
2.7.2.3.	Depósitos Aluviales (Q-al).....	49



2.7.2.4. Depósitos Fluviales (Q-f).....	49
---	----

### **CÁPITULO III**

#### **MATERIALES Y MÉTODOS**

<b>3.1. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>51</b>
3.1.1. Para determinar las características mineralógicas y petrográficas de las alteraciones del tajo Jessica.....	52
3.1.1.1. Recopilación de información .....	52
3.1.1.2. Mapeo de taludes.....	53
3.1.1.3. Preparación de las secciones delgadas .....	55
3.1.2. Para caracterizar las propiedades físicas mecánicas de la litología alterada... 55	
3.1.2.1. Ensayos con el martillo Schmidt.....	55
3.1.2.2. Ensayos triaxiales en muestras de la litología alterada .....	57
3.1.2.3. Registro de datos .....	59
3.1.2.3. Distribución de discontinuidades por tipo de alteraciones.....	59
3.1.2.4. Clasificación geomecánica de la masa rocosa .....	60
3.1.3. Elaboración del informe final.....	61
<b>3.2. MATERIALES, EQUIPOS Y HERRAMIENTAS.....</b>	<b>61</b>

### **CAPÍTULO IV**

#### **CARACTERIZACIÓN DEL AREA DE ESTUDIO**

<b>4.1. UBICACIÓN Y ACCESIBILIDAD .....</b>	<b>63</b>
4.1.1. Ubicación .....	63
4.1.1.1. Clima.....	63
4.1.2. Accesibilidad.....	64
<b>4.2. GEOLOGÍA LOCAL .....</b>	<b>66</b>
4.2.1. Grupo Tacaza .....	66
4.2.2. Formación Palca.....	67



4.2.2.1.	Ignimbrita Palca .....	67
4.2.2.2.	Volcanoclástico .....	68
4.2.3.	Formación Sillapaca.....	68
4.2.3.1.	Andesita Rescatada .....	68
4.2.3.2.	Volcanoclástico Lamparasi .....	69
<b>4.3.</b>	<b>ALTERACIONES.....</b>	<b>71</b>
<b>4.4.</b>	<b>MINERALIZACIÓN.....</b>	<b>71</b>
4.4.1.	Zona de Óxidos / Sulfuros.....	72
<b>4.5.</b>	<b>Geodinámica externa .....</b>	<b>72</b>
<b>4.6.</b>	<b>ESTRUCTURAS GEOLÓGICAS.....</b>	<b>72</b>
<b>4.7.</b>	<b>SISMICIDAD .....</b>	<b>74</b>
4.7.1.	Zonificación Sísmica.....	74

## CÁPITULO V

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

<b>5.1.</b>	<b>DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA DE LA LITOLOGÍA alterada.....</b>	<b>75</b>
5.1.1.	Alteración sílice masiva. ....	76
5.1.2.	Alteración sílice granular .....	78
5.1.3.	Alteración sílice <i>vuggy</i> .....	80
5.1.4.	Alteración sílice alunita .....	82
5.1.5.	Alteración sílice <i>clay</i> .....	84
5.1.6.	Alteración sílice <i>clay</i> pirita .....	86
5.1.7.	Alteración <i>clay</i> .....	88
5.1.8.	Roca Fresca .....	90
<b>5.2.</b>	<b>CARACTERIZACIÓN DEL MACIZO ROCOSO .....</b>	<b>92</b>
5.2.1.	Distribución de discontinuidades del tajo Jessica .....	92
5.2.1.1.	Distribución de discontinuidades sílice masiva .....	94



5.2.1.2. Distribución de discontinuidades sílice granular .....	96
5.2.1.3. Distribución de discontinuidades sílice alunita.....	98
5.2.1.4. Distribución de discontinuidades sílice <i>clay</i> .....	100
5.2.1.5. Distribución de discontinuidades sílice <i>clay</i> piritita.....	102
5.2.1.6. Distribución de discontinuidades <i>clay</i> .....	104
5.2.1.7. Distribución de discontinuidades roca fresca.....	106
5.2.2. Resistencia a la compresión uniaxial .....	108
5.2.3. Sistema RMR valoración del macizo rocoso .....	110
5.2.4. Zonificación geomecanica de la masa rocosa .....	112
5.2.5. Sistema de clasificación GSI.....	113
5.2.6. Índice volabilidad BI por tipo de alteración.....	113
<b>VI. CONCLUSIONES .....</b>	<b>117</b>
<b>VII RECOMENDACIONES .....</b>	<b>118</b>
<b>VIII REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>119</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>121</b>

**Área : Ingeniería Geotécnica.**

**Línea : Geología y Geotecnia de Minas.**

**FECHA DE SUSTENTACIÓN: 29 de abril de 2022.**





## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Zoneamiento típico de alteración para un depósito de alta sulfuración.....	24
<b>Figura 2:</b> Preparación de la superficie de ensayo .....	31
<b>Figura 3:</b> Ejecución del ensayo.....	31
<b>Figura 4:</b> Grafico de correlación para el martillo Schmidt entre resistencia a compresión, densidad de la roca y rebote .....	32
<b>Figura 5:</b> Representación esquemática de las propiedades geométricas de las discontinuidades.....	34
<b>Figura 6:</b> Vista representación de la persistencia .....	35
<b>Figura 7:</b> Estimación de la Rugosidad para escala mayor. ....	37
<b>Figura 8:</b> Representación esquemática de la orientación de discontinuidades.....	40
<b>Figura 9:</b> Caracterización del macizo rocoso en función de los bloques basado en estructura y las condiciones de las juntas .....	42
<b>Figura 10:</b> Unidades Litoestratigráficas de la Subcuenca Chacapalca.....	44
<b>Figura 11:</b> Vista del Sistema Terciario, Grupo Tacaza.....	45
<b>Figura 12:</b> Vista del Grupo Sillapaca. ....	47
<b>Figura 13:</b> Vista del Sistema Cuaternario, Depósitos Morrénicos .....	48
<b>Figura 14:</b> Vista del Sistema Cuaternario, Depósitos Fangosos Bofedales.....	48
<b>Figura 15:</b> Circunscripción geológica del área de estudio.....	50
<b>Figura 16:</b> Se observa el análisis con el martillo Schmidt en el talud con una dirección. 0° .....	55
<b>Figura 17:</b> Se observa el análisis con el martillo Schmidt en muestra caída con una dirección -45°.....	56
<b>Figura 18:</b> Ángulos de prueba del martillo Schmidt.. ....	57
<b>Figura 19:</b> Envolvente de rotura del criterio de Hoek & Brown.. ....	58
<b>Figura 20:</b> Se observa la tabla utilizada para RMR.....	60
<b>Figura 21:</b> Se observa en un metro lineal 5 juntas.....	61



<b>Figura 22:</b> Ubicación de la mina Arasi.....	65
<b>Figura 23:</b> Columna estratigráfica local del tajo Jessica .....	66
<b>Figura 24:</b> Palca Ignimbrita.....	68
<b>Figura 25:</b> Volcanoclastico.....	68
<b>Figura 26:</b> Lava Rescatada .....	69
<b>Figura 27:</b> Volcanoclásticos Lamparasi. Secuencia que hospeda la mineralización.....	69
<b>Figura 28:</b> Plano geológico Local.....	70
<b>Figura 29:</b> Relación de la mineralización y estructuras geológicas (lineamiento estructural) .....	73
<b>Figura 30:</b> Vista Mirando al W. Se aprecia la falla Azufrine de Rb N45En zona de debilidad estructural entre el C° Quimsachota y el Ajanani .....	73
<b>Figura 31:</b> Mapa de calificación de provincias según niveles de peligros sísmicos....	74
<b>Figura 32:</b> Se observa las muestras de las diferentes alteraciones para respectivo corte de las secciones delgadas.....	75
<b>Figura 33:</b> Alteración sílice masiva.....	76
<b>Figura 34:</b> Fotomicrografía de la alteración sílice masiva.....	77
<b>Figura 35:</b> Alteración sílice granular.....	78
<b>Figura 36:</b> Fotomicrografía alteración sílice granular .....	79
<b>Figura 37:</b> Alteración sílice vuggy.....	80
<b>Figura 38:</b> Fotomicrografía alteración sílice vuggy o sílice oquerosa.....	81
<b>Figura 39:</b> Alteración sílice alunita.....	82
<b>Figura 40:</b> Fotomicrografía alteración sílice alunita .....	83
<b>Figura 41:</b> Alteración sílice clay.....	84
<b>Figura 42:</b> Fotomicrografía alteración sílice clay.....	85
<b>Figura 43:</b> Alteración sílice clay pirita .....	86
<b>Figura 44:</b> Fotomicrografía alteración sílice clay pirita más sulfuros.....	87
<b>Figura 45:</b> Alteración clay.....	88



<b>Figura 46:</b> Fotomicrografía alteración clay .....	89
<b>Figura 47:</b> Roca fresca (andesita).. .....	90
<b>Figura 48:</b> Fotomicrografía roca fresca. ....	91
<b>Figura 49:</b> Diagrama estereográfica de contornos del compósito general del Tajo Jessica... ..	92
<b>Figura 50:</b> Diagrama estereográfica de planos principales del Tajo Jessica. ....	93
<b>Figura 51:</b> Roseta, del compósito de estructuras principales del Tajo Jessica. ....	93
<b>Figura 52:</b> Diagrama estereográfico de contornos de la alteración sílice masiva. ....	94
<b>Figura 53:</b> Diagrama estereográfico de planos de la alteración sílice masiva.....	95
<b>Figura 54:</b> Diagrama de roseta de discontinuidades de la alteración sílice masiva.....	95
<b>Figura 55:</b> Diagrama estereográfico de contornos de la alteración sílice granular. ....	96
<b>Figura 56:</b> Diagrama estereográfico de planos de la alteración sílice granular.....	97
<b>Figura 57:</b> Diagrama de roseta de discontinuidades de la alteración sílice granular.....	97
<b>Figura 58:</b> Diagrama estereográfico de contornos de la alteración sílice alunita. ....	98
<b>Figura 59:</b> Diagrama estereográfico de planos de la alteración sílice alunita. ....	99
<b>Figura 60:</b> Diagrama de roseta de discontinuidades de la alteración sílice alunita. ....	99
<b>Figura 61:</b> Diagrama estereográfico de contornos de la alteración sílice clay.....	100
<b>Figura 62:</b> Diagrama estereográfico de planos de la alteración sílice clay. ....	101
<b>Figura 63:</b> Diagrama de roseta de discontinuidades de la alteración sílice clay. ....	101
<b>Figura 64:</b> Diagrama estereográfico de contornos de la alteración sílice clay pirita... ..	102
<b>Figura 65:</b> Diagrama estereográfico de planos de la alteración sílice clay pirita. ....	103
<b>Figura 66:</b> Diagrama de roseta de discontinuidades de la alteración sílice clay pirita.	103
<b>Figura 67:</b> Diagrama estereográfico de contornos de la alteración clay. ....	104
<b>Figura 68:</b> Diagrama estereográfico de planos de la alteración clay.....	105
<b>Figura 69:</b> Diagrama de roseta de discontinuidades de la alteración clay.....	105
<b>Figura 70:</b> Diagrama estereográfico de contornos de la roca fresca .....	106



<b>Figura 71:</b> Diagrama estereográfico de planos de la roca fresca.....	107
<b>Figura 72:</b> Diagrama de roseta de discontinuidades de la roca fresca.....	107
<b>Figura 73:</b> Se observa los valores de resistencia a la compresion uniaxial diferenciado por las alteraciones y la roca frasca .....	110
<b>Figura 74:</b> Zonificación geomecanica de la masa rocosa del tajo Jessica.....	112
<b>Figura 75:</b> Grafico de promedio de indice de volabilidad con las alteraciones.....	116



## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1:</b>	Minerales de diagnóstico de varios estados de pH, estados de sulfuración y oxidación.....	23
<b>Tabla 2:</b>	Criterio para la clasificación de la masa rocosa.....	29
<b>Tabla 3:</b>	Calidad de roca según Terzagui.....	33
<b>Tabla 4:</b>	Valoración usada de discontinuidades.....	33
<b>Tabla 5:</b>	Valoración usada de persistencia.....	35
<b>Tabla 6:</b>	Valoración usada de apertura.....	35
<b>Tabla 7:</b>	Valoración usada de rugosidad.....	36
<b>Tabla 8:</b>	Valoración usada de relleno.....	38
<b>Tabla 9:</b>	Valoración usada de alteración.....	38
<b>Tabla 10:</b>	Criterios de estimación para el grado de Meteorización o Alteración.....	39
<b>Tabla 11:</b>	Valoración usada de presencia de agua.....	39
<b>Tabla 12:</b>	FS recomendados según plazo de estabilidad.....	44
<b>Tabla 13:</b>	Factor de corrección de martillo Schmidt tipo L.....	57
<b>Tabla 14:</b>	Accesibilidad de ruta 01.....	64
<b>Tabla 15:</b>	Accesibilidad de ruta 02.....	64
<b>Tabla 16:</b>	Zoneamiento de la alteración del tajo Jessica.....	75
<b>Tabla 17:</b>	Densidades de las alteraciones.....	108
<b>Tabla 18:</b>	Criterio para la clasificación de la masa rocosa.....	110
<b>Tabla 19:</b>	Resumen de clasificación de la masa rocosa en el Tajo Jessica.....	111
<b>Tabla 20:</b>	Índice de volabilidad de Lilly (1992).....	114
<b>Tabla 21:</b>	Índice de volabilidad por estación geotécnicas de mapeo.....	115



## ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

<b>INGEMMET</b>	: Instituto Geológico Minero Metalúrgico
<b>Osinergmi</b>	: Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería
<b>IGP</b>	: Instituto Geofísico del Perú
<b>RMR</b>	: Rock Mass Rating
<b>GSI</b>	: Geological Strength Index
<b>ISRM</b>	: International Society for Rock Mechanics
<b>RQD</b>	: Rock Quality Designation
<b>BI</b>	: Blastability Index
<b>GPS</b>	: Global Positioning System
<b>UTM</b>	: Universal Transverse Mercator
<b>pH</b>	: Medida de grado de acides o alcalinidad.
<b>Fe</b>	: Hierro
<b>S</b>	: Azufre
<b>HCl</b>	: Cloruro de hidrógeno
<b>m</b>	: Metros
<b>mm</b>	: Milímetros
<b>FS</b>	: Factor de Seguridad
<b>LP</b>	: Estabilidad a largo plazo
<b>MP</b>	: Estabilidad a mediano plazo
<b>CP</b>	: Estabilidad a corto plazo
<b>PgN-tac</b>	: Grupo Tacaza
<b>N-pa</b>	: Grupo Palca
<b>Ni-si</b>	: Grupo Sillapaca



<b>Q-mo</b>	: Depósitos Morrénicos
<b>Q-b</b>	: Depósitos Hidromórficos
<b>Q-al</b>	: Depósitos Aluviales
<b>Q-f</b>	: Depósitos Fluviales
<b>kN/m<sup>3</sup></b>	: Kilonewton por metro cubico
<b>Mpa</b>	: Megapascales
<b><math>\sigma</math></b>	: Tensión
<b>N</b>	: Norte
<b>S</b>	: Sur
<b>E</b>	: Este
<b>W</b>	: Oeste
<b>Rb</b>	: Rumbo
<b>m/s</b>	: Metros por segundo
<b>Km</b>	: Kilometros
<b>msnm</b>	: Metros sobre el nivel del mar
<b>SM</b>	: Sílice Masiva
<b>SG</b>	: Sílice Granular
<b>SV</b>	: Sílice vuggy
<b>SA</b>	: Sílice Alunita
<b>SC</b>	: Sílice Clay
<b>SCP</b>	: Sílice Clay Pirita
<b>C</b>	: Clay
<b>RF</b>	: Roca Fresca
<b>ats</b>	: Anatasa
<b>aln</b>	: Alunita (KAl <sub>3</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> (OH) <sub>6</sub> )



**ARCs** : Arcillas (filosilicatos de Al, hidratados)

**cz** : Cuarzo (SiO<sub>2</sub>)





## RESUMEN

La unidad minera ARASI SAC tajo Jessica, es un yacimiento epitermal de alta sulfuración y contempla la explotación a cielo abierto de oro diseminado, el cual está ubicado en el distrito de Ocuveri, provincia de Lampa, departamento de Puno. Este trabajo de investigación surge por el proceso de explotación de mineral en los bancos, cuando estos presentaban problemas de inestabilidad por la generalización de la litología alterada durante el modelado inicial del tajo; en este tipo de yacimientos los cambios de litología alterada a veces son bruscos y por lo tanto las propiedades físico mecánicas cambian rápidamente. El objetivo de este trabajo, es evaluar las características mineralógicas y físico mecánicas de cada tipo litológico, para luego estos ser utilizados en la extracción de mineral y diseño del tajo. La metodología utilizada es de tipo descriptiva y cuantitativa, la cual comprende etapas en donde se cartografió los tipos litológicos, se obtuvieron muestras representativas y estas fueron enviadas al laboratorio para ser estudios petrográficos y físico mecánicas. Los datos obtenidos de laboratorio y campo, fueron plasmados en información cartográfica para la zonificación geotécnica del tajo; esta zonificación ayudó a determinar que un 70% del tajo Jessica, está conformado por rocas tipo II y III, que corresponde a rocas con alteración sílice *clay*, sílice alunita, sílice *clay* pirita, sílice masiva y sílice granular moderadamente fracturada y *clay* tipo IV. Los factores de seguridad por tipo de alteración nos mostraron valores estables en los taludes de operación, lo cual repercute también en el talud global con condición estática y pseudo-estático estable. Con los datos obtenidos en este estudio se podrá tener una adecuada información y mejor criterio durante la etapa de minado, el cual involucra la voladura y finalmente el cierre de mina en el Tajo Jessica.

**Palabras clave:** Alteraciones, Características físico mecánicas, Estabilidad de taludes, Litología, Tajo, Petrología.



## ABSTRACT

The ARASI SAC pit Jessica mining unit is a high sulphidation epithermal deposit and contemplates the open pit exploitation of disseminated gold, which is located in the district of Ocuvi, province of Lampa, department of Puno. This research work arises from the mineral exploitation process in the banks, when these presented instability problems due to the generalization of the altered lithology during the initial modeling of the pit; In this type of reservoir, the altered lithology changes are sometimes abrupt and therefore the physical-mechanical properties change rapidly. The objective of this work is to evaluate the mineralogical and physico-mechanical characteristics of each lithological type, so that these can be used in the extraction of ore and design of the pit. The methodology used is descriptive and quantitative, which includes stages where the lithological types were mapped, representative samples were obtained and these were sent to the laboratory for petrographic and physical-mechanical studies. The data obtained from the laboratory and field were reflected in cartographic information for the geotechnical zoning of the pit; This zoning helped determine that 70% of the Jessica pit is made up of type II and III rocks, which corresponds to rocks with silica clay, alunite silica, pyrite silica clay, massive silica and moderately fractured granular silica and type IV clay. The safety factors by type of alteration showed us stable values in the operating slopes, which also affects the global slope with a stable static and pseudo-static condition. With the data obtained in this study it will be possible to have adequate information and better criteria during the mining stage, which involves blasting and finally the closure of the mine in the Jessica Pit.

**Keywords:** Alterations, physical-mechanical characteristics, slope stability, lithology, pit, petrology.



# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

Las alteraciones presentes en los yacimientos epitermales de alta sulfuración contribuyen a los cambios físico mecánicos de las rocas, en el medio natural en la que se desarrollan, estos cambios se evidencian más en la etapa de explotación de un yacimiento minero. En una mina a cielo abierto las características físico mecánicas de las rocas son importantes para el diseño de los taludes durante la etapa de minado y post minado.

Dada esta situación surge la motivación del presente estudio a determinar la influencia de la litología alterada en las características físico mecánicas del talud, este tema es crucial durante la etapa de explotación del yacimiento, pues de esto depende los costos de obtención de mineral económico, seguridad y estabilidad del tajo, siendo necesario saber la composición mineralógica, tipo de alteración, propiedades físicas y mecánicas de la litología alterada presente. Dado que el yacimiento es un epitermal de alta sulfuración y los cambios de litología alterada son desde una silicificación, argílica, argílica avanzada y la zona de propilitica. La zona que tiene minerales económicos es la silicificación y las siguiente son las que tienen minerales ganga.

En el presente estudio se utilizó la metodología de investigación cuantitativa. Que es el uso de datos cuantitativos que son productos de la medición de la realidad y, por lo tanto, se pueden convertir en datos numéricos (Cutipa, 2018). Por consiguiente, se refieren a frecuencias, cantidades, distancias, volúmenes y pesos, existentes en la realidad.

### 1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Durante la extracción de mineral en una mina normalmente a tajo abierto suceden diversos problemas en la etapa de minado y post minado. es así que en la Mina Arasi,



Tajo Jessica, también ocurren dificultades por sobrerotura luego de una voladura efectuada en el macizo rocoso alterado, esto especialmente se observa en las crestas de banco; los cuales llegan a medir entre 1.50m a 2.00m.

Se tiene un diseño inicial de voladura, el cual se hizo con un estudio generalizado con datos de perforaciones diamantinas hechas durante la etapa de exploración, lo cual no ayuda mucho durante la etapa de explotación o extracción de mineral, pues estos diseños iniciales deben ser modificados a medida que avance el minado, esto por la presencia de diferentes tipos de litología alterada que afectaran el diseño final del *pit*; no teniendo así un patrón de las características físico mecánicas de la litología alterada que se tiene en la zona de estudio.

En actualidad el diseño inicial de voladura por los problemas mencionados conlleva a abandonar mineral en algunos sectores del tajo, esto, afecta el cumplimiento de leyes recuperadas por día y mes al área de geología mina.

Esto también acarrea problemas de seguridad y de costos (la buena recuperación del mineral); en ambos casos ocasionados por diseños de banco iniciales, que no tomaban o ponían énfasis en la litología alterada, esto por los modelos y normatividad para la caracterización de un macizo rocoso no alterado. Parte de este problema, se debe también, a la reciente creación del área de geotecnia en dicha unidad minera, entonces no existía o no se controlaba un diseño tajo.

Se plantea entonces una clasificación de las características físicos mecánicas de los tipos de litología alterada, el cual nos ayudara a cumplir el diseño de minado durante la explotación hasta el cierre de mina.



## **1.2. HIPÓTESIS GENERAL**

Los tipos de litología alterada, mineralogía y características físico mecánicas podrían influir directamente en el diseño de un tajo durante la explotación y post minado.

### **1.2.1. Hipótesis específicas**

- El tipo de litología alterada y mineralogía es muy variable por el tipo de yacimiento que presenta el tajo Jessica.
- Las propiedades físico mecánicas de las rocas pueden ser muy variables por la presencia de las alteraciones de alta sulfuración.

## **1.3. OBJETIVO GENERAL**

Determinar el nivel de influencia de la litología alterada en las características físico mecánicas para el diseño del tajo Jessica en la mina Arasi.

### **1.3.1. Objetivos específicos**

- Determinar las características mineralógicas y petrográficas de las alteraciones del tajo Jessica.
- Caracterizar las propiedades físico mecánicas de la litología alterada.



## CAPÍTULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### 2.1. DEPÓSITOS EPITERMALES

El término epitermal se deriva de la clasificación propuesta en 1911 por Lindgren en un intento de sistematizar los depósitos minerales hidrotermales (Lindgren, 1911; Henley, 1985). En su clasificación genética, Lindgren definió los depósitos como “depósitos metalíferos formados cerca de la superficie por aguas termales en ascenso y conectados genéticamente con rocas ígneas”. El estimó un rango de temperatura de 50 a 200 °C y una profundidad máxima de 1000 m para éstos depósitos. Sus deducciones se basaron en los límites de estabilidad de ciertos minerales, tal como adularia, similares con las texturas de vetas de los depósitos “*hot spring*” (ambientes geotermales) y reconstrucciones geológicas. Descripciones más detalladas de los ambientes epitermales en la literatura geológica moderna incluyen también a (Buchanan ,1981; Berger y Eimon 1983).

Un gran número de depósitos epitermales están asociados a estructuras de origen volcánico, en especial calderas y complejos andesíticos. Así mismo, existe un importante control de éste tipo de depósitos por parte de fallas de escala regional, en zonas de intenso fracturamiento dentro de un régimen extensional (Nieto-Samaniego y otros, 2005).

Las características claves que distinguen a un depósito epitermal son particularmente mineralógicas, con los minerales de ganga y las alteraciones hidrotermales. Los minerales de ganga característicos del estado de alta sulfuración, son: alto contenido de pirita, enargita, luzonita, digenita, calcosita, famatinita, covelita; y una alteración argílica avanzada caracterizada por cuarzo, cuarzo residual (“*vuggy*”), alunita, pirofilita y caolinita/dickita (Arribas, 1995). Los minerales de ganga característicos del

estado de baja sulfuración, son: cuarzo (incluyendo calcedonia), pirita, esfalerita, arsenopirita, pirrotita y loellingita; y una alteración argílica-sericítica caracterizada por cuarzo, adularia, illita y calcita.

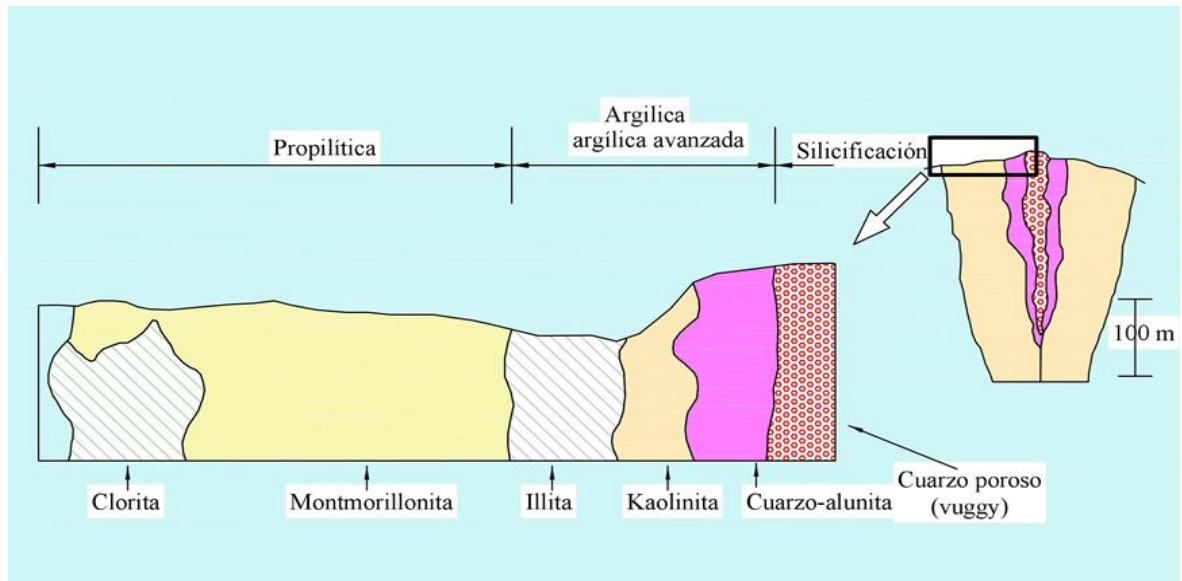
**Tabla 1:** Minerales de diagnóstico de varios estados de pH, estados de sulfuración y oxidación.

<b>pH ácido</b>		<b>pH neutro</b>
Alunita, caolinita (dickita), pirofilita, sílice residual, cuarzo vuggy.		cuarzo-adularia±illita, calcita.
<b>Alta Sulfuración</b>	<b>Sulfuración intermedia</b>	<b>Baja sulfuración</b>
Pirita-enargita±luzunita, oropimenta. Covelita-digenita, famatinita, oropimenta.	Tennantita, tetrahedrita, hematita-pirita-magnetita, pirita, calcopirita, esfalerita-pirita pobre en Fe.	Arsenopirita-loellita-pirrotita-pirrotita, esfalerita-pirita rica en Fe.
<b>Oxidado</b>		<b>Reducido</b>
Alunita, hematita, magnetita.		Magnetita-pirita-pirrotita, clorita-pirita.

(Fuente: Modificado de Einaudi y otros, 2003)

## 2.2. ALTERACIONES DE LA ALTA SULFURACIÓN

En general, el zoneamiento de la alteración característica de los depósitos de alta sulfuración parte desde un núcleo silíceo constituido de cuarzo poroso, que alberga la parte más importante de la mineralización económica, seguido de alteración argílica avanzada constituida de cuarzo-alunita, caolinita e illita, para terminar en alteración propilítica que incluye la montmorillonita y clorita modificado de (Stoffregen, 1987).



**Figura 1:** Zonamiento típico de alteración para un depósito de alta sulfuración. (Fuente: modificado de *stoffregen*, 1987)

### 2.2.1. Alteración cuarzo oqueroso (*vuggy silica*)

La alteración *vuggy silica* es una de las más conocidas y característica de los yacimientos de alta sulfuración ya que solo se presenta en este tipo de yacimientos por las particularidades genéticas que presenta. La alteración *vuggy silica* es generada por la intensa lixiviación de la roca volcánica adyacente, la cual destruye los minerales primarios que conformaban la roca original (Stoffregen, 1987), dejando solo el mineral de cuarzo y sílice como un residuo, dicha alteración es el producto de condiciones muy ácidas:  $\text{pH} < 2$  y  $T \sim 250^\circ\text{C}$  (Arribas, 1995), donde el aluminio llega a ser soluble. Estas condiciones ocurren dentro de fluidos hidrotermales ricos en sulfatos y altas concentraciones de HCl generados por la absorción de vapor magmático.

### 2.2.2. Alteración argilica avanzada

Esta alteración se presenta como resultado de las altas temperaturas de los fluidos ácidos circundantes en el ambiente, está asociada con los lagos de cráter ácidos en la cima de volcanes activos (Arribas, 1995). Por otra parte, esta alteración es conocida porque generalmente es huésped de la mineralización en los sistemas de alta sulfuración. La





alteración está compuesta por caolinita, dickita, pirofilita, diásporo, alunita (el grupo de las alunitas incluye natroalunita, donde el Na reemplaza al K, y Jarosita, el Fe reemplaza al Al (Pirajno, 2009), principalmente, pero también es frecuente el cuarzo y la sericita y a veces piritita, turmalina, topacio, zunyita y arcillas amorfas. los cuales están en/o adyacentes a vetas o zonas de reemplazamiento en el ambiente magmático-hidrotermal.

### **2.2.3. Alteración argílica**

La alteración argílica se caracteriza por la formación de minerales de arcilla, debido al metasomatismo de  $H^+$  y al lixiviamiento ácido, la alteración se desarrolla a temperaturas de entre  $100^{\circ}C$  a  $300^{\circ}C$ . La lixiviación de los silicatos de aluminio resulta en un enriquecimiento de material rico en sílice. Los minerales de arcilla son producto del reemplazamiento de las plagioclasas y los silicatos máficos como la biotita y la hornblenda. Arcillas amorfas como el alófano pueden también estar presentes (Pirajno, 2009). La asociación mineral típica para esta alteración está conformada por cuarzo, caolinita, illita sericita y esmectita (Arribas, 1995), sin embargo, la alteración argílica puede derivarse a una alteración argílica intermedia en donde las condiciones cambian un poco. Para esta alteración predomina la caolinita y montmorillonita, y pueden estar presentes arcillas amorfas y feldespatos potásico y biotita parcialmente recristalizadas a clorita.

### **2.2.4. Alteración propilítica**

Una de las alteraciones que ocurren en las zonas más alejadas de la actividad hidrotermal y de sus consecuentes fluidos ácidos es la alteración propilítica la cual es caracterizada por la añadidura de  $H_2O$  y  $CO_2$  al sistema y localmente Azufre (S), con poca cantidad de  $H^+$  producto del metasomatismo (Pirajno, 2009). Esta alteración ocurre preferentemente en regiones con baja relación agua-roca, fuera de las zonas de los



conductos, y está controlada por la composición original de la roca (White y Hedenquist, 1995). La asociación mineralógica relacionada a esta alteración presenta minerales como la albita, calcita, illita, esmectita, epidota, clorita, pirita, adularia y minerales del grupo de las zeolitas, los cuales generalmente se presentan como asociación rodeando a las demás alteraciones y cuerpos de minerales económicos.

### **2.3. MACIZO ROCOSO**

La mecánica de rocas se ocupa del estudio teórico y práctico de las propiedades y del comportamiento mecánico de los materiales rocosos, y su respuesta ante la acción de fuerzas aplicadas en su entorno físico. El desarrollo de la mecánica de rocas se inició como consecuencia de la utilización del medio geológico para obras superficiales y subterráneas y explotación de recursos mineros. Los distintos ámbitos de aplicación de la mecánica de rocas se pueden agrupar en aquellos en que el material rocoso constituye la estructura como en taludes, aquellos en que la roca es el soporte de otras estructuras como en presas y aquellos en los que la roca se emplea como material de construcción. (Mercedes Ferrer, Luis I. Gonzáles de Vallejo, 2002).

Los macizos rocosos en su mayoría aparecen afectados por discontinuidades o superficies de debilidad que separan bloques de matriz rocosa constituyendo en conjunto los macizos rocosos. Ambos ámbitos son importantes, pero son principalmente las discontinuidades las que determinan el carácter diferencial de la disciplina de la mecánica de rocas haciendo que ésta presente un carácter discontinuo y anisotrópico.

La matriz rocosa es el material geológico exento de discontinuidades, o los bloques de “roca intacta”, que quedan entre ellas. La matriz rocosa, a pesar de considerarse continua, presenta un comportamiento heterogéneo y anisótropo ligado a su fabricación y su microestructura mineral. Mecánicamente queda caracterizada por su peso



específico, resistencia y deformabilidad. (Mercedes Ferrer, Luis I. Gonzáles de Vallejo, 2002).

Una discontinuidad en cualquier plano de origen mecánico o sedimentario que independiza o separa los bloques de matriz rocosa en un macizo rocoso. Generalmente la resistencia a la tracción de los planos de discontinuidades es muy baja o nula. Su comportamiento mecánico queda caracterizado por su resistencia al corte o en su caso, por el material de relleno (Mercedes Ferrer, Luis I. Gonzáles de Vallejo, 2002)

- **Anisotropía:** La presencia de planos de debilidad de orientaciones preferentes (estratificación, laminación, familias de diaclasas tectónicas) implica diferentes propiedades y comportamiento mecánico en función de la dirección considerada. También la orientación de los esfuerzos que se ejercen sobre el material rocoso pueden implicar una anisotropía asociada al estado tensional.
- **Discontinuidad:** La presencia de discontinuidades (superficies de estratificación, juntas, fallas, diques, etc.) rompe la continuidad de las propiedades mecánicas de los bloques rocosos, confiriendo al macizo un comportamiento geomecánico e hidráulico discontinuo, condicionado por la naturaleza, frecuencia y orientación de los planos de discontinuidad.
- **Heterogeneidad:** Las zonas con diferente litología, grado de alteración o meteorización, contenido de agua, etc., pueden presentar propiedades muy diferentes.

Macizo rocoso es el conjunto de los bloques de matriz rocosa y de las discontinuidades de diverso tipo que afectan al medio rocoso. Mecánicamente los macizos rocosos son medios discontinuos, anisótropos y heterogéneos. Prácticamente



pueden considerarse una resistencia a la tracción nula. (Mercedes Ferrer, Luis I. Gonzáles de Vallejo, 2002)

#### **2.4. CRITERIOS DE EVALUACIÓN GEOMECÁNICA DEL MACIZO ROCOSO**

Las tres clasificaciones más utilizadas actualmente son las de Bieniawsky (RMR), la de Barton, Lien y Lunde (Q) y la de Hoek and Brown (GSI). Las dos primeras utilizan un parámetro, RQD (*Rack Quality Designation*), que constituye la base de la clasificación de Deere.

Los Índices RMR y Q, se aplica directamente en el campo sobre las superficies visibles de los afloramientos rocosos, para lo cual se ha agrupado en tramos con sus características como el tipo de roca, grado de fracturamiento y otros que son visibles. Posteriormente los valores obtenidos son comparables por medio de fórmulas que las correlacionan, con la cual se hace un ajuste de ambos sistemas si es que hay variación, de esta manera se tiene un valor promedio de ambas o en su defecto sirve para revisar nuevamente los datos, seguido de la aplicación en gabinete, con la cual se corrige la Cohesión y el ángulo de fricción; este programa también nos da el Módulo de Elasticidad.

Cabe resaltar que estos métodos son empíricos, desarrollados a través de casos estudiados, principalmente de estructuras civiles subterráneas (túneles). En las valoraciones de algunos parámetros previos para la determinación del RMR y Q, se ha usado las recomendaciones del ISRM, con la finalidad de uniformizar el criterio de valoración.

En el uso de los sistemas de clasificaciones geomecánicas RMR y Q, se ha aplicado factores aplicables a áreas superficiales; en el RMR, se aplicó el factor de

corrección correspondiente a Tajos Abiertos; y en el Índice Q, se aplicó un factor aplicado a entradas (Boquillas) de Túneles (Torreblanca, 2008).

#### 2.4.1. Sistema de Clasificación RMR de Bieniawski

El sistema de clasificación *Rock Mass Rating* o sistema RMR fue desarrollado Bieniawski durante los años 1972 - 1973, y ha sido modificado en 1976 y 1979, en base a más de 300 casos reales de túneles, cavernas, taludes y cimentaciones es un sistema de clasificación de macizos rocosos que permite a su vez relacionar índices de calidad con parámetros geotécnicos del macizo, Actualmente se usa la edición de 1989, que coincide sustancialmente con la de 1979. Para determinar el índice RMR de calidad de la roca se hace uso de los seis parámetros del terreno siguientes:

- Resistencia a compresión simple del material
- RQD (Rock Quality Designation) Índice de calidad de roca
- Espaciamiento de las discontinuidades
- Estado de las discontinuidades
- Presencia de agua
- Orientación de las discontinuidades

**Tabla 2:** Criterio para la clasificación de la masa rocosa.

Tipo de roca	Rango RMR	Calidad según RMR
I	81 – 100	Muy Buena
II	61 – 80	Buena
IIIA	51 – 60	Regular A
IIIB	41 – 50	Regular B
IVA	31 – 40	Mala A
IVB	21 – 30	Mala B
V	<21	Muy Mala

(Fuente: Bieniawski 1979)



## **2.4.2. Resistencia a la Compresión Uniaxial**

Este parámetro se puede obtener mediante laboratorio, Martillo de Geólogo y también a partir de resultados de rebote del Martillo Schmidt, según normas ISRM (*International Society for Rock Mechanics*).

### **2.4.2.1. Martillo Schmidt (esclerómetro)**

Es un instrumento que nos permite estimar aproximadamente la resistencia a compresión simple de una roca ya sea en un talud, túnel, testigo de roca o discontinuidad mediante el rebote que produce el muelle que se aloja en su interior después de un impacto sobre una superficie rocosa (Lozano, 2012)

El martillo de tipo L, de los cuatro disponibles, es el que se recomienda en la ISRM. Mediante este ensayo se puede estimar el valor de la resistencia a compresión simple de la matriz rocosa a partir de la resistencia al rebote de la superficie ensayada. (Lozano, 2012)

### **2.4.2.2. Procedimiento de medida**

El martillo únicamente se debe usar en las superficies de los materiales a ensayar y en el yunque de prueba.

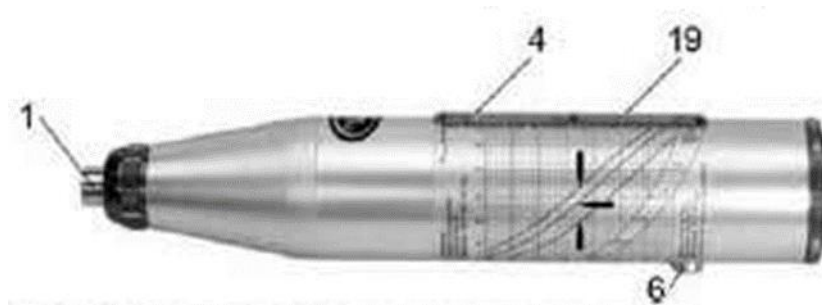
En el caso de ensayos in situ, el desarrollo del ensayo consiste en una preparación de las zonas elegidas, eliminando la pátina de roca meteorizada. Para alisar la superficie de ensayos se utiliza una piedra de amolar como se observa en la figura 2 (Lozano, 2012).



**Figura 2:** Preparación de la superficie de ensayo. (Fuente: Lozano, 2012)

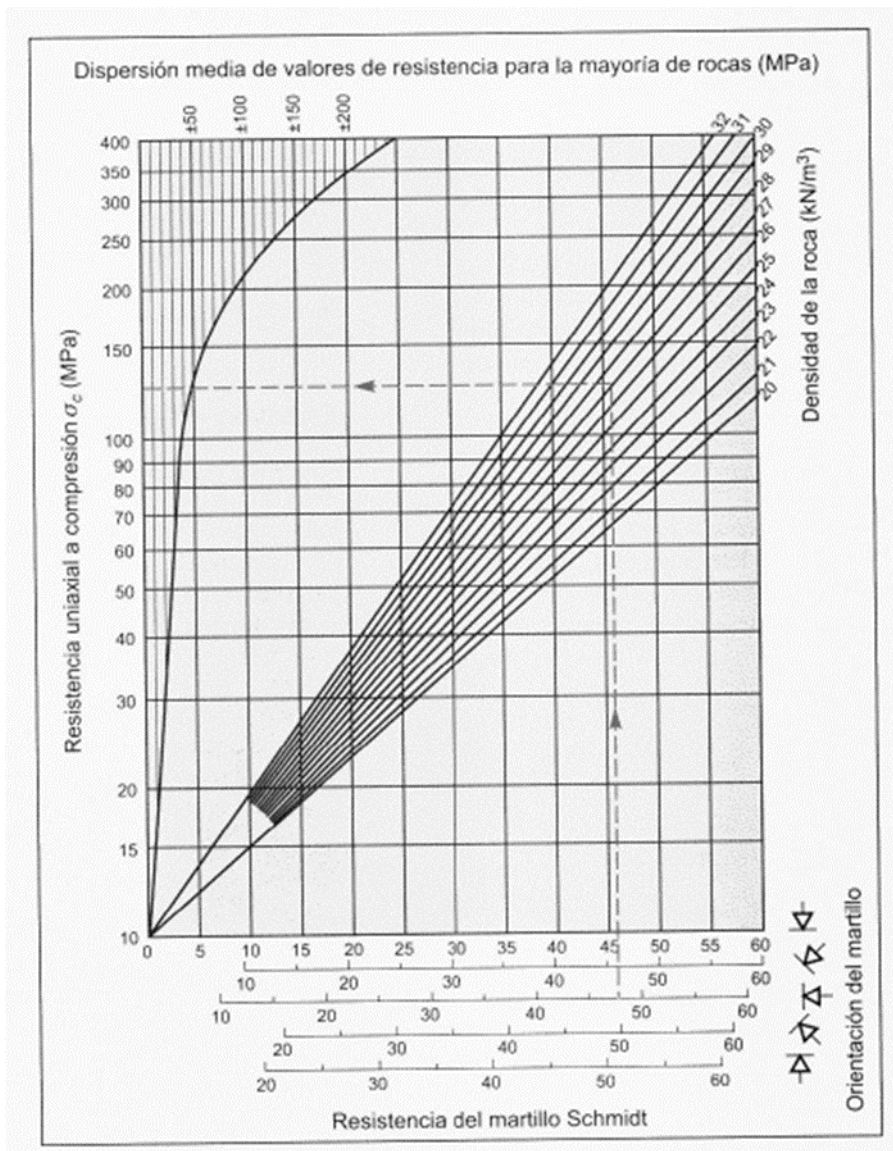
Para la ejecución del ensayo, se realizan los siguientes pasos:

- Posicionar el martillo perpendicularmente a la superficie de la roca ensayada.
- Disparar el vástago o punzón de impacto (1) empujando el martillo hacia la superficie del ensayo hasta que el botón (6) salta hacia fuera (Figura 3).
- Pulsar el botón para bloquear el vástago de impacto después de cada impacto.
- A continuación, leer y anotar el valor de rebote indicado por el puntero (4) en la escala (19).



**Figura 3:** Ejecución del ensayo. (Fuente: Lozano, 2012)

Esta medida de rebote se correlaciona con la resistencia mediante el grafico de Miller (Figura 4) que tiene en cuenta la densidad de la roca y la orientación del martillo respecto al plano de roca ensayado. (Lozano, 2012)



**Figura 4:** Grafico de correlación para el martillo Schmidt entre resistencia a compresión, densidad de la roca y rebote. (Fuente: Aydin, 2009)

### 2.4.3. Designación de la calidad de roca RQD

Es un método en el cual se califica el índice de calidad de roca RQD, mediante calculos, se ha utilizado una ecuación diferencial propuesta por Priest y Hodsson (1976); en donde, se considera el número de discontinuidades por metro lineal (ecu, 1); para trabajos en superficie (Hoek, E. Brown, E.T. 1980).

$$RQD = 100e^{-0.1\lambda}(0.1\lambda + 1) \dots \dots (\text{ecu } 1)$$

De donde:



$\lambda$ =Número de juntas por metro lineal

**Tabla 3:** Calidad de roca según Terzagui.

RQD	Calidad de roca
25%	muy mala
25-50%	mala
50-75%	regular
75-90%	buena
90-100%	muy buena

(Fuente: Terzagui 1979)

#### 2.4.4. Espaciamiento de discontinuidades

El espaciado entre los planos de discontinuidad condiciona el tamaño de los bloques de matriz rocosa y, por tanto, define el papel que ésta tendrá en el comportamiento mecánico del macizo rocoso, y su importancia con respecto a la influencia de las discontinuidades. Se toma el sistema más relevante.

El parámetro considerado es la separación en metros entre juntas de la familia principal de diaclasas de la roca. (ISRM, 1981).

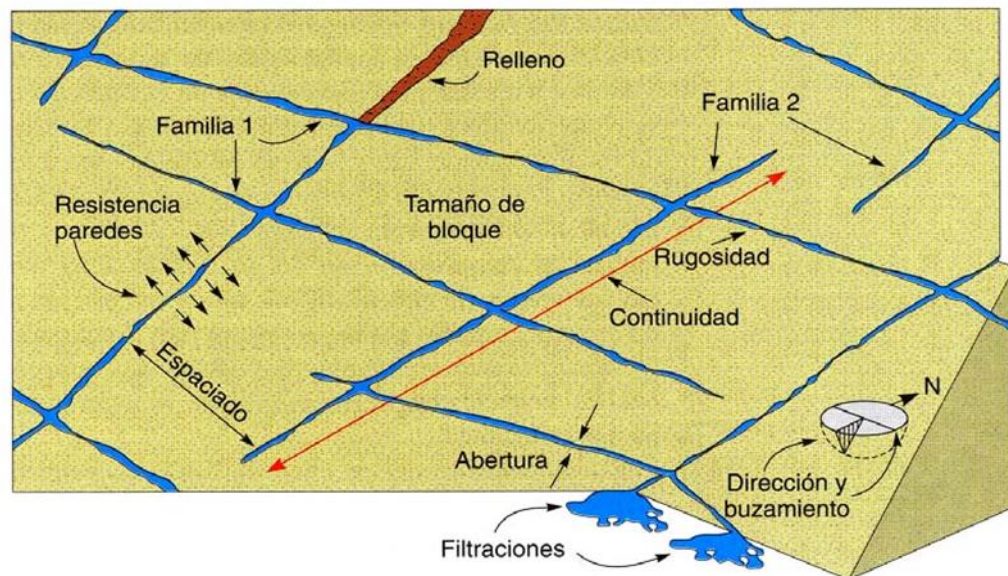
**Tabla 4:** Valoración usada de discontinuidades.

Espaciamiento (m)	Puntaje
>2	20
0.6-2.0	15
0.2-0.6	10
0.06-0.2	8
<0.06	5

(Fuente: ISRM, 1981)

### 2.4.5. Estado de las discontinuidades

Es el parámetro que más influye, con una valoración máxima de 20 puntos. La condición de las discontinuidades considera cinco parámetros (Persistencia, apertura, rugosidad, relleno, meteorización). Mercedes Ferrer, Luis I. Gonzáles de Vallejo, 2002.



**Figura 5:** Representación esquemática de las propiedades geométricas de las discontinuidades. (Fuente: Hudson, 1989)

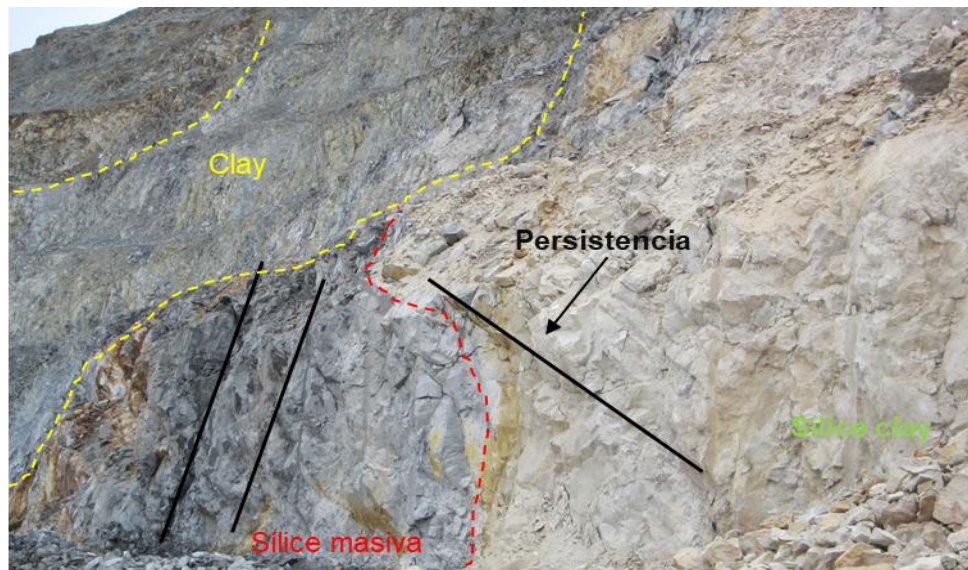
#### 2.4.5.1. Persistencia

Es la extensión superficial, medida por la longitud según la dirección del plano y según su buzamiento. Es un parámetro de gran importancia, pero de difícil cuantificación a partir de la observación de afloramientos, en los que normalmente se ven las trazas de los planos de discontinuidad según un buzamiento aparente (ISRM, 1981).

**Tabla 5:** Valoración usada de persistencia.

Longitud de la discontinuidad (m)	Puntaje
< 1	6
1 – 3	4
3 – 10	2
0 – 20	1
> 20	0

(Fuente: ISRM, 1981)



**Figura 6:** Vista representación de la persistencia. (Fuente: Elaboración propia, 2016)

#### 2.4.5.2. Apertura

Es la distancia perpendicular que separa las paredes de la discontinuidad cuando no existe relleno. Este parámetro puede ser muy variable en diferentes zonas de un mismo macizo rocoso. (ISRM, 1981)

**Tabla 6:** Valoración usada de apertura.

Abertura (mm)	Puntaje
Nada	6
< 0.10	5
0.1 – 1	4
1 – 5	1
> 5	0



(Fuente: ISRM, 1981)

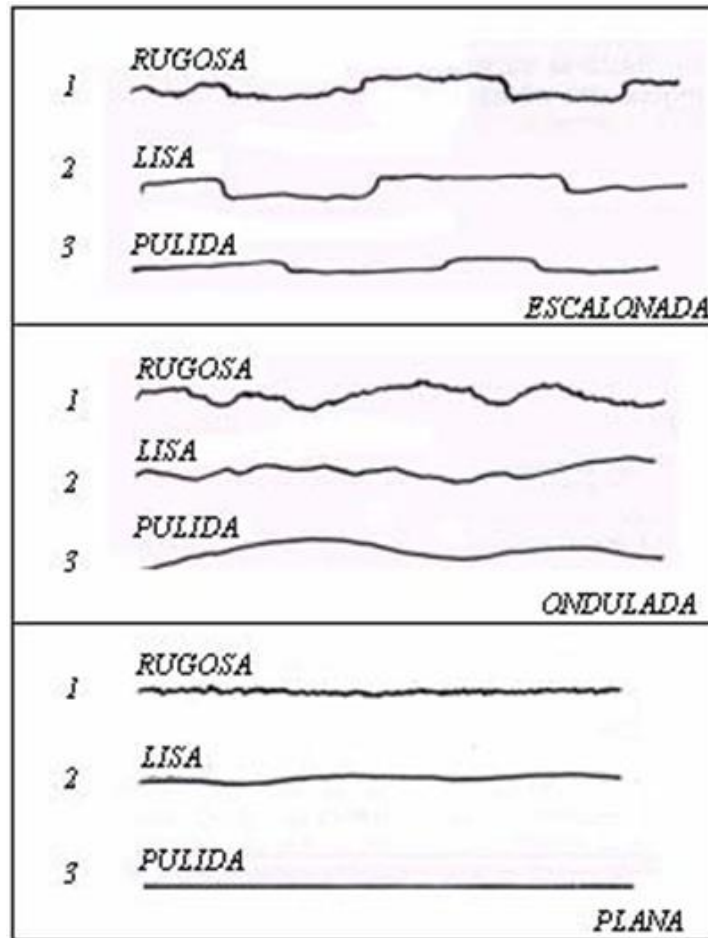
### 2.4.5.3. Rugosidad

La descripción y medida de la rugosidad tiene como principal finalidad la evaluación de la resistencia al corte de los planos de las discontinuidades. La rugosidad aumenta la resistencia al corte, que decrece con el aumento de la abertura y, por lo general, con el espesor de relleno. (ISRM, 1981)

**Tabla 7:** Valoración usada de rugosidad.

Rugosidad	Puntaje
Muy Rugosa	6
Rugosa	5
Ligeramente rugosa	3
Ondulada	1
Suave	0

(Fuente: ISRM, 1981)



**Figura 7:** Estimación de la Rugosidad para escala mayor. (Fuente: ISRM, 1981.)

#### 2.4.5.4. Relleno

Las discontinuidades pueden aparecer rellenas de un material de naturaleza distinta a la roca de las paredes. Existe gran variedad de materiales de relleno con propiedades físicas y mecánicas muy variables. La presencia de relleno gobierna el comportamiento de la discontinuidad, por lo que deben ser reconocidos y descritos todos los aspectos referentes a sus propiedades y estado. Valoración usada: (ISRM, 1981)

**Tabla 8:** Valoración usada de relleno.

Relleno	Puntaje
Ninguno	6
Duro (< 5 mm.)	4
Duro (> 5 mm.)	2
Blando (< 5 mm.)	2
Blando (> 5 mm.)	0

(Fuente: ISRM, 1981)

#### 2.4.5.5. 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. Cuanto mayor sea el proceso de meteorización mayor será la porosidad, permeabilidad y deformabilidad del material rocoso, al mismo tiempo que se disminuye su resistencia. La identificación del grado de meteorización puede basarse de acuerdo a la tabla 10. (ISRM, 1981).

**Tabla 9:** Valoración usada de alteración.

Alteración	Puntaje
Inalterada	6
Ligeramente alterada	5
Moderadamente Alterada	3
Muy Alterada	2
Descompuesta	0

(Fuente: ISRM, 1981)

**Tabla 10:** Criterios de estimación para el grado de Meteorización o Alteración.

TERMINO	DESCRIPCIÓN	GRADO
Roca Fresca	No presenta signos visibles de meteorización en la roca: tal vez una leve decoloración en las superficies de las discontinuidades mayores.	I
Levemente Meteorizada	La decoloración indica meteorización de la roca y en las superficies de las discontinuidades. La roca en su totalidad puede estar decolorada por la meteorización y puede estar externamente algo más débil, que en su condición fresca.	II
Moderadamente Meteorizada	Menos de la mitad de la roca está descompuesta y/o desintegrada como un suelo. La roca fresca o decolorada se puede presentar como colpas o testigos continuos.	III
Muy Meteorizada	Más de la mitad de la roca está descompuesta y/o desintegrada como un suelo. La roca fresca o decolorada se puede presentar como colpas o testigos discontinuos.	IV
Completamente Meteorizada	Toda la roca está descompuesta y/o desintegrada como un suelo. La estructura original del macizo aún se mantiene en gran parte intacta.	V
Suelo Residual	Toda la roca está convertida como suelo. La estructura del macizo y la fábrica del material están destruidas. Existe un gran cambio de volumen, sin embargo, el suelo no ha sido transportado significativamente.	VI

(Fuente: ISRM, 1981)

#### 2.4.6. Presencia de agua

La presencia de agua en el interior de un macizo rocoso procede generalmente del flujo que circula a través de las discontinuidades y en ciertos casos debido a la permeabilidad de su matriz rocosa, el flujo de agua en excavación subterránea (si está disponible). Presión de agua en discontinuidades. (ISRM, 1981).

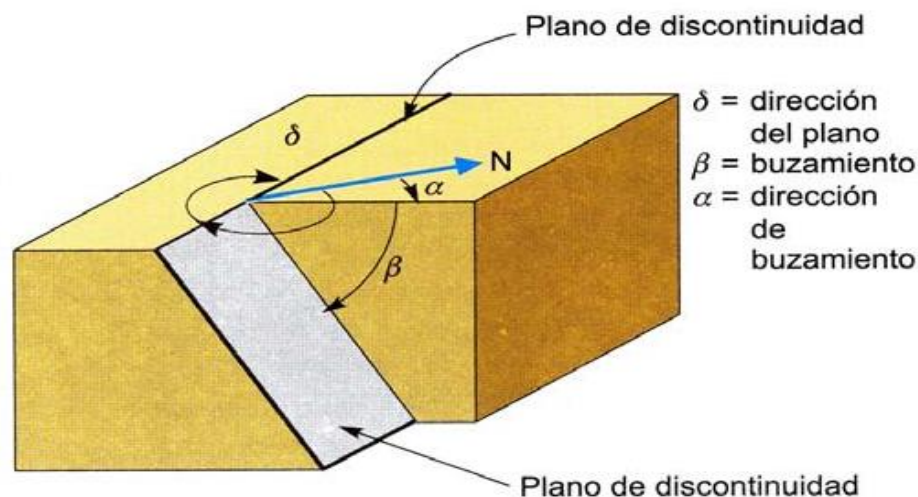
**Tabla 11:** Valoración usada de presencia de agua.

Descripción de las condiciones generales	Puntaje
Completamente seco	15
Apenas húmedo	10
Mojado/Húmedo	7
Goteo	4
Fluido continuo	0

(Fuente: ISRM, 1981)

### 2.4.7. Orientación de discontinuidades

Es la posición de la discontinuidad en el espacio y comúnmente es descrito por su rumbo y buzamiento. Cuando un grupo de discontinuidades se presenta con similar orientación o en otras palabras son aproximadamente paralelas, se dice que estas forman un “sistema” o una “familia” de discontinuidades. La orientación de una discontinuidad en el espacio queda definida por su dirección de buzamiento (dirección de la línea de máxima pendiente del plano de discontinuidad respecto al norte) y por su buzamiento (inclinación respecto a la horizontal de dicha línea). Su medida se realiza mediante la brújula con clinómetro o con el diaclasímetro. La dirección de buzamiento se mide siguiendo la dirección de las agujas del reloj desde el norte, y varía Entre  $0^\circ$  y  $360^\circ$ . El buzamiento se mide mediante el clinómetro, con valores entre  $0^\circ$  (capa horizontal) y  $90^\circ$  (capa vertical). (Mercedes Ferrer, Luis I. Gonzáles de Vallejo, 2002)



**Figura 8:** Representación esquemática de la orientación de discontinuidades.  
(Fuente: Gonzales de vallejo, 2002)





## **2.5. SISTEMA DE CLASIFICACIÓN GSI (GEOLOGICAL STRENGTH INDEX)**

Hoek et al., (1995) presentó el índice de resistencia geológica, como complemento a su criterio generalizado de falla en roca, y como una forma de estimar los parámetros. El GSI estima la reducción de la resistencia del macizo para diferentes condiciones geológicas. El GSI se ha actualizado para macizos débiles en varias ocasiones (1998, 2000 y 2001 (Hoek et al., 2002).

<p>Rocas diaclasadas (Hoek and Marinos, 2000)</p> <p>A partir de la litología, estructura y condiciones superficiales de las discontinuidades, se estima un valor promedio del GSI. No se debe tratar de ser muy preciso. Un rango de 33-37 es mas realista que un GSI=35. Note que la tabla a macizos estructuralmente controlados por fallas, donde planos estructurales débiles están presentes en una dirección desfavorable con respecto al frente de excavación, estos podrán dominar el comportamiento del macizo rocoso. Las zonas de falla son propensas a la alteración como resultado de los cambios de humedad que pueden reducirse cuando el agua esta presente. Cuando trabajamos en rocas de regular o mala calidad, cambiar las condiciones por el cambio de humedad. La presión de poros se maneja con un analisis de esfuerzos efectivos.</p>		CONDICIONES DE SUPERFICIE				
		MUY BUENAS Superficies muy rugosas, superficies no meteorizadas, frescas.	BUENAS Superficies rugosas, ligeramente meteorizadas, manchadas con hierro.	REGULAR Superficies lisas, moderadamente meteorizadas y alteradas.	POBRE Superficies con espejos de falla, con alto grado de meteorización y rellenos compactos o rellenos de gragmentos.	MUY POBRE Superficies con espejos de falla, con alto grado de meteorización con rellenos de arcilla suave.
		DECRECE LA CALIDAD DE LA SUPERFICIE →				
	INTACTA O MASIVA.- Especimenes de roca con discontinuidades amplias y espaciadas.	90			N/A	N/A
	FRACTURADA.- Macizo rocoso con bloques entabados, consistente en bloques cúbicos formados por tres intersecciones.	80	70			
	MUY FRACTURADA.- Macizo parcialmente perturbado con bloques entabados y angulares, formados por cuatro o mas familias de discontinuidades.		60	50		
	FRACTURADA/PERTURBADA.- Macizo rocoso plegada formado por bloques angulares formados por la intersección de varios.			40	30	
	DISINTEGRADA.- Macizo rocoso altamente fracturado con mezcla de fragmentos angulares y redondeados, pobremente.				20	
	FOLIADA/LAMINADA.- Se carece de bloques debido al débil material presente en los planos de foliación o de cizalla.	N/A	N/A			10

**Figura 9:** Caracterización del macizo rocoso en función de los bloques basado en estructura y las condiciones de las juntas. (Fuente: Adaptada de Hoek 2006)

La caracterización del macizo rocoso es simple y está basada en la impresión visual de la estructura rocosa, en términos de bloques y de la condición superficial de las discontinuidades indicadas por la rugosidad y alteración de las juntas. La combinación de estos dos parámetros proporciona una base práctica para describir un rango amplio de tipos de macizos rocosos. (Hoek, 2006)

## 2.6. FACTOR DE SEGURIDAD

El enfoque clásico utilizado en el diseño de estructuras de ingeniería es considera la relación entre la resistencia o soporte a la carga del sistema y la demanda o carga calculada actuando sobre el sistema. El factor de seguridad (FS) es una medición determinística de la relación entre las fuerzas resistentes (capacidad) y las fuerzas actuantes (demanda). (Osinergmin, 2007). El factor de seguridad de una estructura se define como: (Osinergmin, 2007).

$$FS = \frac{C}{D}$$

Donde:

FS = Factor de Seguridad

C = Capacidad de soporte de carga del sistema

D = Fuerzas actuantes o demanda sobre el sistema

Existen tres posibles escenarios:

Cuando  $C > D$ , luego  $C/D > F > 1$  el sistema es estable.

Cuando  $C < D$ , luego  $C/D < F < 1$  el sistema es inestable.

Cuando  $C = D$ , luego  $C/D = F = 1$  el sistema está en equilibrio límite.

El valor de FS convencionalmente consiste en colocar un valor prescrito mínimo de aceptación del diseño basado principalmente en la experiencia. Los valores de FS considerados como mínimos se muestran en la siguiente tabla 12. El grado de confiabilidad de la función de capacidad (C) depende de la variabilidad de los parámetros de la resistencia al corte de la masa rocosa, prueba de errores, procedimientos mineros, procedimientos de inspección, etc. Similarmente la función de demanda (D) incluye

factores de fuerza de carga gravitacional de la masa rocosa, aceleración sísmica, esfuerzos circundantes y ubicación del nivel freático (Osinergmin, 2007).

**Tabla 12:** FS recomendados según plazo de estabilidad.

Plazo	Rangos de FS
Estabilidad a largo plazo (LP)	>1.5
Estabilidad a mediano plazo (MP)	1.3-1.5
Estabilidad a corto plazo (CP)	1.1-1.3

(Fuente: Osinergmin, 2007)

**Nota:** se considera: CP < 3 meses, 3 meses < MP < 1 año y LP > 1 año

## 2.7. CIRCUNSCRIPCIÓN GEOLÓGICA DEL ÁREA DE ESTUDIO

Regionalmente la zona de estudio está representada por la geología correspondiente a la Cordillera volcánica del sur, formada por picos, conos volcánicos y derrames lávicos; predominantemente de edad terciaria. Esporádicamente se encuentran afloramientos de formaciones estratigráficas de edad Cretácea. (Geología Arasi, 2006)

ERA	SISTEMA		SERIE	NOMBRE	UNIDADES LITOESTRATIGRAFICAS	
CENOZOICA	CUATERNARIO		Holoceno	Aluvial	Q-al	Arcilla, arenas y clastos
				Fluvial	Q-f	Gravas, arenas, cantos
				Hidromórficos	Q-b	Fangos, arcillas
				Morrenas	Q-mo	Arcillas y bloques
	TERCIARIO	NEÓGENO	Plioceno	Grupo Sillapaca	Ni-si	Lavas dacíticas, andecíticas y traquiandesíticas rojas (600 m de espesor)
			Mioceno	Grupo Palca	N-pa	Ignimbritas
		PALEÓGENO	Oligoceno	Grupo Tacaza	PgN-tac	Lavas andesíticas, lavas y tufos (400 m de espesor)

**Figura 10:** Unidades Litoestratigráficas de la Subcuenca Chacapalca. (Fuente: Geología Arasi)

### 2.7.1. Sistema Terciario

El Sistema Terciario está representado por un conjunto de rocas volcánicas con dominio muy extenso, formadas durante tres fases de efusiones volcánicas, que han dado lugar a la formación de tres grupos de rocas volcánica; que van desde el Oligoceno hasta el Mioceno. (Geología Arasi, 2006)



*Figura 11:* Vista del Sistema Terciario, Grupo Tacaza. (Fuente: Geología Aras, 2004)

#### 2.7.1.1. Grupo Tacaza (PgN-tac)

El grupo Tacaza comprende una secuencia de rocas volcánicas que descansan en discordancia sobre las rocas sedimentarias del grupo Puno (contacto no visto en el área de estudio) e infrayace a los volcánicos de la formación Palca. Litológicamente comprende una secuencia de lavas andesíticas basálticas y tufos, con olivino y augita porfirítica; de 400 m de espesor y amplia distribución en el lado occidental del área de estudio; donde forma las paredes de ambas márgenes del valle del río Chacapalca. (Geología Arasi, 2006)



### **2.7.1.2. Grupo Palca (N-pa)**

El grupo Palca comprende un conjunto de ignimbritas que descansan en discordancia angular sobre el grupo Tacaza e infrayace en contacto gradual al grupo Sillapaca, con tendencia a la interdigitación con los estratos Sillapaca. Comprende ignimbritas masivas soldadas con clastos andesíticos, cuerpos friables y pedregosos, cuerpos de grano fino de color rojo con clastos de andesitas y basaltos; también se presentan brechas clásticas rojas.

En el área de estudio se presentan en la parte occidental, en la margen izquierda del río Chacapalca, formando la base encañonada del valle. (Geología Arasi, 2006)

### **2.7.1.3. Grupo Sillapaca (Ni-si)**

La Formación Sillapaca considerada por algunos como grupo Sillapaca, está constituido por una secuencia de rocas volcánicas que descansan sobre los grupos Palca y Tacaza, en discordancia angular. Litológicamente comprende una secuencia de 600 m de espesor, de lavas fluidas dacíticas y andesíticas de color rojo a púrpura; así como lavas dacíticas y traquiandesíticas. Este grupo está formando una cordillera muy alta y extensa, entre los cerros Cacututuyo, Huarucani, Quimsachota, Lluchusani, Azufrini y Lamparasi, entre otros. (Geología Arasi, 2006)



**Figura 12:** Vista del Grupo Sillapaca. (Fuente: *Geología Arasi, 2004*)

### **2.7.2. Sistema Cuaternario**

El sistema Cuaternario comprende un conjunto de depósitos sedimentarios fluviales, aluviales y morrenas. De acuerdo al origen se diferencian los depósitos siguientes:

#### **2.7.2.1. Depósitos Morrénicos (Q-mo)**

Los depósitos morrénicos son sedimentos acumulados por la fusión de masas glaciares en retroceso, las mismas que se encuentran extinguidas en el área de estudio. Los depósitos morrénicos más conspicuos son los formados por el denominado Lamparasi, que ocurre adyacentemente al área del estudio. Las morrenas son acumulaciones lineales de clastos finos y gruesos con bloques, todos de composición volcánica. Estos depósitos tienen espesores desde cubiertas delgadas hasta más de 100 m de espesor; formando los interfluvios de los valles glaciares (cerro Joyllone). Son depósitos inconsolidados, muy friables y forman suelos arcillosos profundos. (Arasi, 2006)



**Figura 13:** Vista del Sistema Cuaternario, Depósitos Morrénicos. (Fuente: *Geología Arasi, 2004*)

#### 2.7.2.2. Depósitos Hidromórficos (Q-b)

Vienen a constituir por depósitos inconsolidados con formación de turseras o bofedales, los cuales se han formado por la acumulación de sedimentos muy finos y fangosos en medios hidromórficos formados por afloramientos de aguas subterráneas (puquiales), con presencia densa de vegetación acuática, donde se ha ido acumulando las denominadas turberas, con suelos negros. (Arasi, 2006)



**Figura 14:** Vista del Sistema Cuaternario, Depósitos Fangosos Bofedales. (Fuente: *Geología Arasi, 2004*)





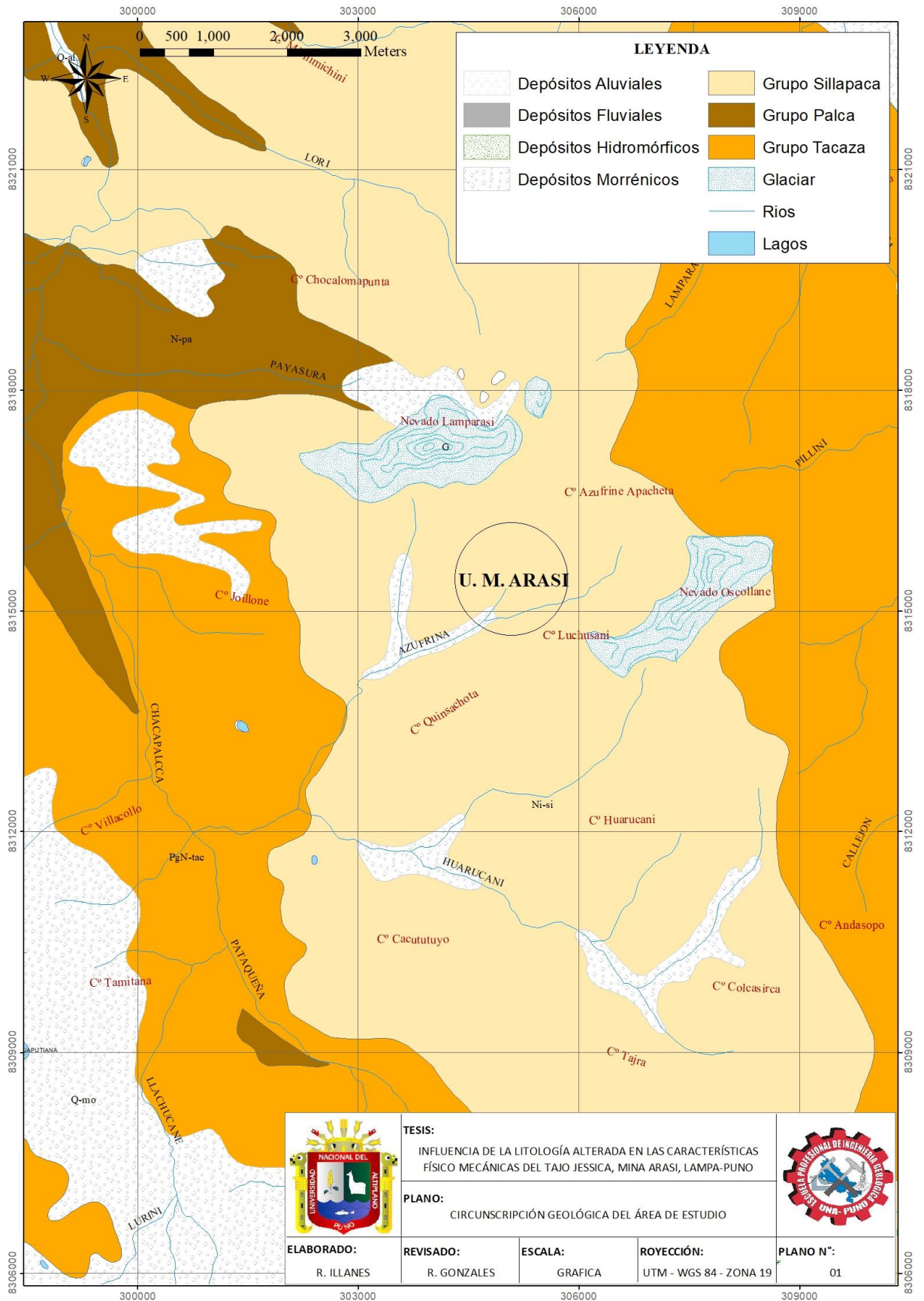
### **2.7.2.3. Depósitos Aluviales (Q-al)**

En las partes medias y bajas de las laderas, por la morfología plana intermedia y partes bajas de los valles, se han producido acumulaciones de sedimentos clásticos finos generados por la escorrentía pluvial que ha desgastado las laderas de los cerros. En el área de estudio se encuentran con más amplitud en la margen derecha del valle del río Pataqueña, con espesores delgados hasta varios metros. (Geología Arasi, 2006)

### **2.7.2.4. Depósitos Fluviales (Q-f)**

En el fondo del valle Chacapalca – Pataqueña, las acumulaciones fluviales han dado lugar a la formación de terrazas de clastos de arenas, gravas y cantos rodados, redondeados, moderadamente seleccionados; con espesores delgados de 2,0 a 4,0 m.

Estos depósitos son de buena calidad como materiales de construcción para agregados y afirmados de vías de acceso. (Geología Arasi, 2006)



**Figura 15:** Circunscripción geológica del área de estudio. (Fuente: Elaboración propia, 2018).



## CÁPITULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

Para el presente trabajo de investigación la metodología fue cuantitativa y explicativa, estas se desarrollaron en cuatro etapas.

- **Trabajo de gabinete:** Recopilación de información.
- **Trabajo de campo:** Mapeo de taludes de la litología alterada, mapeo características geomecánicas, ensayos con el martillo schmidt, toma de muestras de la litología alterada.
- **Trabajo de laboratorio:** Preparación de las secciones delgadas, ensayos triaxiales en muestras de la litología alterada.
- **Trabajo de elaboración del documento final.**

##### a. Investigación cuantitativa

En este sentido debemos entender que las investigaciones cuantitativas manejan datos cuantitativos que son productos de la medición de la realidad y, por lo tanto, podemos convertirlos en datos numéricos (Cutipa F. C., 2018). el presente trabajo de investigación se realizará el mapeo de taludes de la litología alterada, y las características físico mecánicas y, por lo tanto, también la toma de muestras para el análisis de secciones delgadas y para el ensayo triaxial en los respectivos laboratorios.



## **b. Tipo explicativo**

No existen la asociación, es decir la variable uno causa (independiente) siempre se produce antes y la variable dos efectos (dependiente) siempre después (Cutipa F. C., 2018).

En la presente investigación la variable independiente es la litología alterada y la variable dependiente son las características físico mecánicas del Tajo Jessica, mina Arasi. Es de nivel simple se trata de relacionar una causa con un efecto (Franco, 1995), y lo podemos representar simbólicamente así:

$$Y = f(X) \text{ o } (X \rightarrow Y)$$

Donde:

X: Litología alterada

Y: Características físico mecánicas

### **3.1.1. PARA DETERMINAR LAS CARACTERÍSTICAS MINERALÓGICAS Y PETROGRÁFICAS DE LAS ALTERACIONES DEL TAJO JESSICA.**

#### **3.1.1.1. Recopilación de información**

Se considera como una de las etapas más importantes en el desarrollo de la investigación. Esta etapa se caracterizó por la recopilación de información teniendo como fuente de consulta la biblioteca de ARASI (Angloglold, archivos técnicos de estabilidad de taludes, boletines de la INGEMMET, etc.) también, se revisó información del internet. también en clasificar la información de acuerdo a la confiabilidad de los datos existentes de los avances del cartografiado. Se organizó la información en base a los datos tomados por geotecnia y geología de la empresa Arasi, recopilación de data geológica y geomecanicá del tajo Jessica. Con la finalización de esta etapa se puede decir que se tiene listo el empiezo del trabajo.



### 3.1.1.2. Mapeo de taludes

- Se procederá a salir a campo, previo planeamiento de la zona a mapear y verificado el estado del tiempo.
- Antes de iniciar el mapeo, debemos de realizar el reconocimiento del área en la cual nos encontramos y será objeto de descripción.
- Se identificará la mejor zona a mapear. Las alteraciones hidrotermales.
- Al realizar los trabajos en el campo, se debe trabajar con sumo cuidado, en especial en zonas abruptas, empinadas.
- Una vez identificado el recorrido, se procede a realizar el mapeo, ubicando un punto con el GPS en el afloramiento, para establecer la ubicación correcta.
- Se procede a marcar con spray el código de estación. Para su identificación.
- Proceder a mapear las estructuras más relevantes que intercepten la wincha esta discriminación está en función de la naturaleza del estudio. En el caso de estructuras paralelas o subparalelas al talud del afloramiento donde no es posible establecer su intersección con la wincha se le tomará la lectura en el punto medio de su persistencia (Extensión).
- Para registrar las características geométricas de las estructuras se utilizará la brújula, tomando el *dip* y el *dip direction*.
- En caso que el plano de la estructura se encuentre perfectamente definido, sea accesible y no exista peligro de caída de rocas se podrá colocar la brújula directamente sobre el plano de la estructura.



- En caso de no existir estas condiciones se tomará el dato en la proyección del plano ubicándonos en el alineamiento de esta proyección y viendo el plano de perfil en esta posición se tomará el *dip/dip direction* de la estructura.
- Se procederá a describir a la estructura en términos de tipo de roca, resistencia, tipo, persistencia, abertura, relleno, alteración, rugosidad, condición de agua de acuerdo al estándar.
- La información se tomará en el formato estándar aprobado.
- El contorno de los afloramientos debe considerarse como un detalle importante. Se marcará puntos referenciales con el GPS y con la brújula, la orientación.
- Se tomará muestras de mano, para realizar una descripción del tipo de roca en gabinete.
- Una vez tomada la muestra de será embolsada, codificada y ubicada con el GPS marcando el punto de ubicación en el plano.
- De considerarse necesario, se tomarán muestras de bloque de roca (como mínimo de 30\*30\*30 cm) para realizar ensayos geotécnicos.
- Antes de abandonar el área de trabajo se verificará llevar consigo todo el material que se empleó en la ejecución de la tarea para evitar que olvidemos algo en el área de trabajo.
- Para dirigirse al siguiente afloramiento, el buen juicio del ingeniero primará para establecer la mejor ruta.
- En época de lluvia, se debe evaluar si es posible continuar con el trabajo o detenerlo.

- Toma de muestras de la litología alterada.

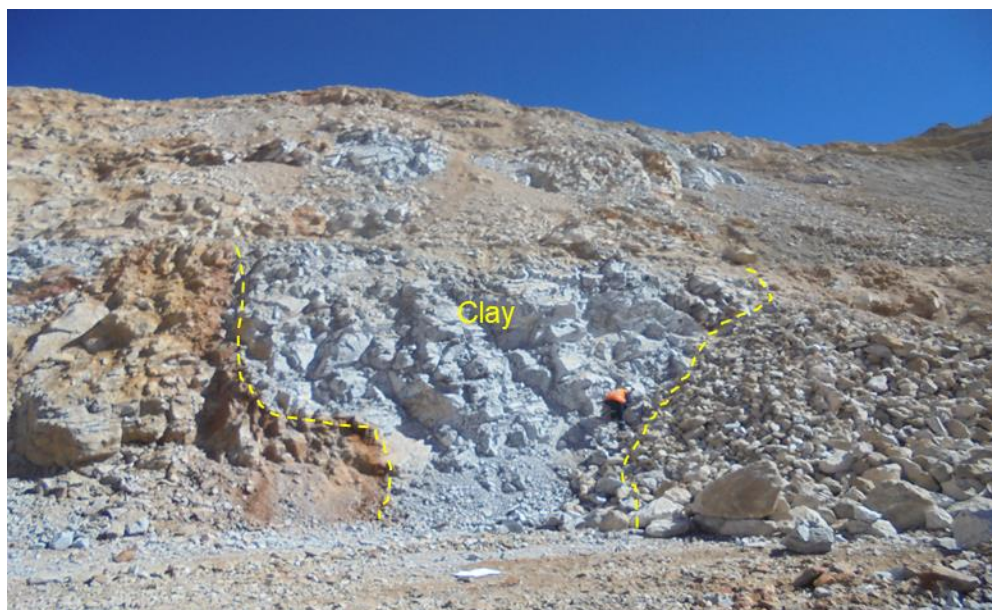
### 3.1.1.3. Preparación de las secciones delgadas

Las secciones delgadas se realizaron las alteraciones características del Tajo Jessica. Como son la sílice masiva (SM), sílice granular (SG), sílice alunita (SA), sílice clay (SC), sílice clay pirita (SCP), clay (C). La roca fresca (RF).

## 3.1.2. PARA CARACTERIZAR LAS PROPIEDADES FÍSICAS MECÁNICAS DE LA LITOLOGÍA ALTERADA.

### 3.1.2.1. Ensayos con el martillo Schmidt

En primer lugar, se debe conocer la densidad de la muestra sobre la cual se va a desarrollar el ensayo y se debe establecer la orientación de aplicación del martillo. Se recomienda aplicar la carga perpendicularmente a la superficie de la muestra.



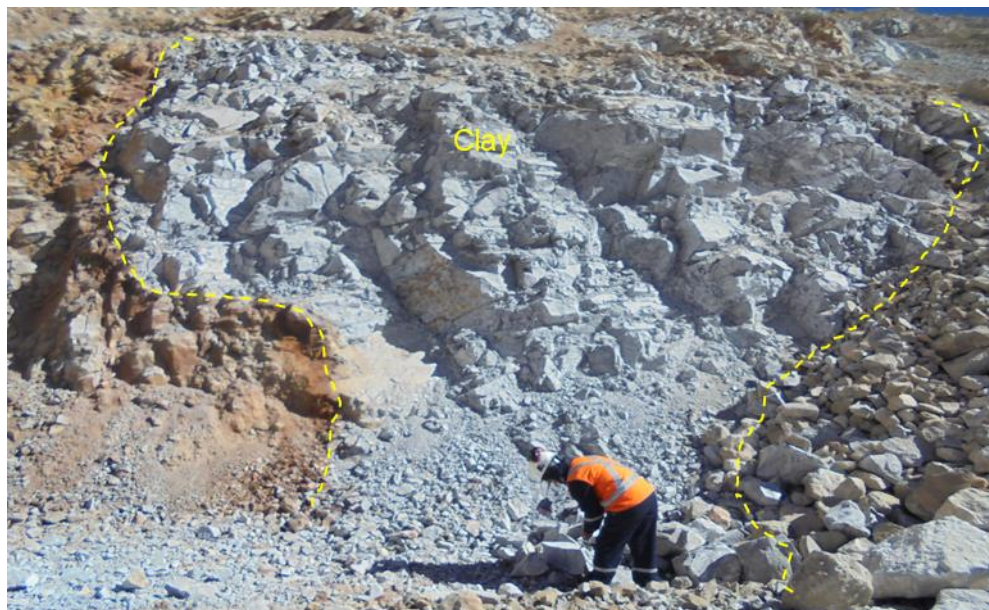
**Figura 16:** Se observa el análisis con el martillo Schmidt en el talud con una dirección  $0^\circ$ . (Fuente: *Elaboración propia, 2017*)

En este trabajo se emplea un martillo de Schmidt o Esclerómetro Tipo L. El golpeo con el esclerómetro proporciona un valor denominado “índice esclerométrico” o rebotes, R, limitándonos a tomar las medidas en las discontinuidades se debe tomar datos en

bloques cuyo espesor sea de 6 cm como mínimo y/o en el talud como se observa en la figura 18. Las muestras se sujetan firmemente en el soporte y se comprueba que su superficie es lisa y plana y que no hay discontinuidades, cracks, etc por lo menos en los 6 cm superficiales de la muestra

Se realizan al menos 20 medidas por muestra aplicando preferentemente el martillo en posición adecuada a la superficie del talud como se puede observar en la figura 16 y en muestras caídas ver la figura 17. Cada nueva medida se hará con una separación mínima equivalente al diámetro de la punta del martillo.

La dureza al rebote se calcula multiplicando esta media por el factor de corrección que se muestra en la tabla 13.



**Figura 17:** Se observa el análisis con el martillo Schmidt en muestra caída con una dirección  $-45^\circ$ . (Fuente: *Elaboración propia*, 2017)



**Tabla 13:** Factor de corrección de martillo Schmdt tipo L.

Ángulo de Prueba	Rebote	Densidad kN/m <sup>3</sup>	Fatt. Conv.	Resistencia Mpa
Ángulo de Prueba = 0°	R	d	$0.000867 * d * R + 0.932$	POTENCIA(10;Fatt. Conv)
Ángulo de Prueba = 90°	R	d	$0.00088 * d * R + 1.01$	POTENCIA(10;Fatt. Conv)
Ángulo de Prueba = 45°	R	d	$0.000896*d*R+0.972$	POTENCIA(10;Fatt. Conv)

(Fuente: Elaboración propia, mina ARASI 2015)

Ángulo de Prueba	Se realiza	Dirección de ensayo
Ángulo de Prueba = 0°	Por lo general esta dirección de ensayo es el realizado en Mina.	
Ángulo de Prueba = 90°	Por lo general esta dirección de ensayo es el realizado en Logeo Diamantino	
Ángulo de Prueba = -45°	Por lo general esta dirección de ensayo es el realizado en Minería, muestras caidas	

**Figura 18:** Ángulos de prueba del martillo Schmidt. (Fuente: Elaboración propia, mina ARASI 2015).

### 3.1.2.2. Ensayos triaxiales en muestras de la litología alterada

Este ensayo tiene como objetivo determinar la resistencia a la compresión de una muestra cilíndrica de roca (testigo), que es sometida a una presión de confinamiento constante mientras se le aplica una carga axial de manera continua y gradual. Este

escenario permite reproducir en el laboratorio los esfuerzos de confinamiento que experimenta el macizo rocoso in situ.

En el ensayo, la carga axial aplicada representa el esfuerzo principal mayor ( $\sigma_1$ ) correspondiente, mientras que la tensión radial producida por la presión hidráulica representa el esfuerzo principal menor ( $\sigma_3$ ). A partir de cada par de valores  $\sigma_1$  y  $\sigma_3$  se podrá construir la envolvente de esfuerzos (criterio de falla de Hoek & Brown) desde la cual se puede obtener la constante de roca intacta  $m_i$  u otros. La gráfica a continuación representa las diferentes condiciones de esfuerzos para rotura de la roca intacta. (Fuente: Osinergmin,2007).

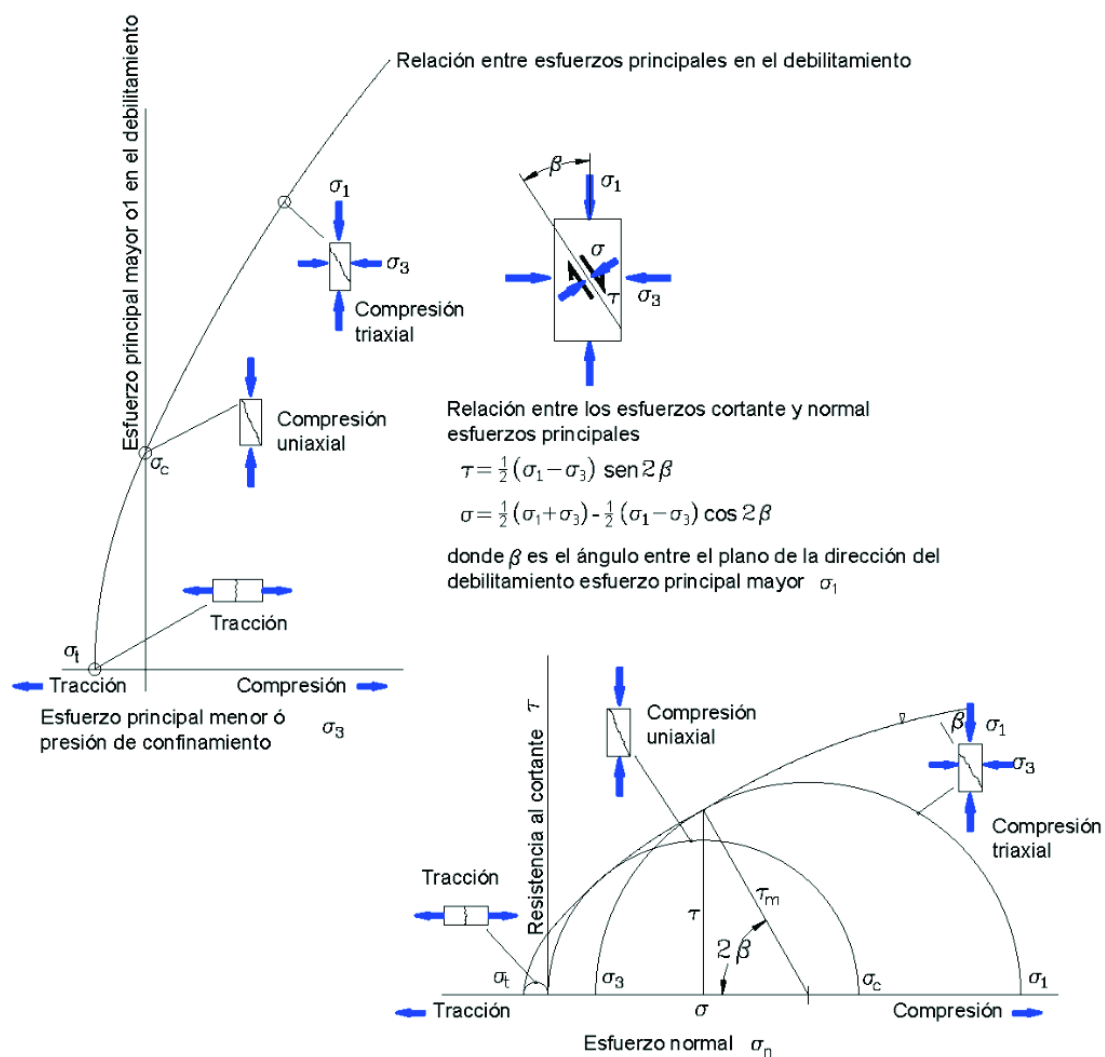


Figura 19: Envolvente de rotura del criterio de Hoek & Brown. (Fuente: Osinergmin,2007).



### **3.1.2.3. Registro de datos**

Para la caracterización del macizo rocoso del tajo en estudio, se registraron datos a partir del mapeo geotécnico de taludes. El mapeo geotécnico de taludes se llevó a cabo utilizando el "método directo por celdas de detalle". Mediante este método se realizaron mediciones sistemáticas de las discontinuidades presentes en cada estación de medición, representada por un tramo de extensión variable de la roca expuesta.

Los parámetros de observación y medición fueron obtenidos en formatos de registro diseñado para este propósito, adecuándolos a las normas sugeridas por la Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas (ISRM). Estos parámetros fueron: tipo de roca (litología alterada), tipo de sistema de discontinuidad, orientación, espaciado, persistencia, apertura, rugosidad, tipo de relleno, espesor del relleno, intemperización y presencia de agua. Adicionalmente se registraron datos sobre la resistencia de la roca y la frecuencia de fracturamiento. Cada celda de detalle constituyó una estación de medición (EG), en total se realizaron mapeos en 45 celdas en el área de estudio.

### **3.1.2.3. Distribución de discontinuidades por tipo de alteraciones**

Para establecer las características de la distribución de discontinuidades mayores como menores por tipo de alteraciones ver el plano de mapeo de alteraciones ver anexos de las EG (anexo 5 – 48), el procesamiento de los datos orientacionales se realizó mediante técnicas de proyección estereográfica equiareal, utilizando programa de computo DIPS desarrollados por M.S. Diederichs y E. Hoek del Grupo de Ingeniería de Rocas del Departamento de Ingeniería Civil de la Universidad de Toronto – Canadá (1995) y la versión avanzada elaborada por Rocscience 6.0.

### 3.1.2.4. Clasificación geomecánica de la masa rocosa

Para clasificar geomecánicamente de la masa rocosa se utilizó el criterio de clasificación geomecánica de Bieniawski (RMR – Valoración del Macizo Rocoso – 1989). Los valores de resistencia compresiva de las alteraciones, fueron obtenidos conforme a los procedimientos señalados.

Los valores del índice de calidad de la roca (RQD) fueron determinados mediante el registro lineal de discontinuidades, utilizando la relación propuesta por Priest & Hudson (1986), teniendo como parámetro de entrada principal la frecuencia de fracturamiento por metro lineal. También se obtuvieron valores del RQD a partir del mapeo de taludes en el campo del presente estudio.

#### a. Sistema RMR valoración del macizo rocoso

Para clasificar geomecánicamente a la masa rocosa se utilizó el criterio de clasificación geomecánica de Bieniawski (RMR – Valoración del Macizo Rocoso – 1989).

ROCK MASS RATING (R.M.R.)												
PARÁMETRO	VALORES									CLASIFICACIÓN		
Fuerza intacta (Mpa)	> 250	(15)	100 - 250	(12)	50 - 100	(7)	25 - 50	(4)	< 25 (2) < 5 (1) < 1	(0)	1	
R.Q.D. %	90 - 100	(20)	75 - 90	(17)	50 - 75	(13)	25 - 50	(8)	< 25	(3)	2	
Espaciado de juntas (m)	> 2	(20)	0.6 - 2	(15)	0.2 - 0.6	(10)	0.06 - 0.2	(8)	< 0.06	(5)	3	
Condición discontinuidades o juntas	Persistencia	< 1m	(6)	1 - 3 m	(4)	3 - 10 m	(2)	10 - 20 m	(1)	> 20 m	(0)	4A
	Abertura	Cerrado	(6)	0.1 mm	(5)	0.1 - 1.0 mm	(4)	1 - 5 mm	(1)	> 5 mm	(0)	4B
	Rugosidad	Muy rugoso	(6)	Rugoso	(5)	ligeramente rugoso	(3)	Ondulado	(1)	Suave	(0)	4C
	relleno	Ninguno	(6)	Duro < 5 mm	(4)	Duro > 5 mm	(2)	Blando < 5 mm	(2)	Blando > 5 mm	(0)	4D
Meteorización	Inalterada	(6)	Ligeramente alterada	(5)	Moderadamente alterada	(3)	Muy alterada	(2)	Descompuesta	(0)	4E	
Condiciones del agua subterránea	Seco	(15)	Húmedo	(10)	Mojado	(7)	Goteo	(4)	Fluido	(0)	5	
RATING TOTAL RMR (Suma inicial 1 a 5) =												

**Figura 20:** Se observa la tabla utilizada para RMR. (Fuente: Geotecnia Arasi- adecuado ISRM, 1981)

#### b. RQD índice de calidad de la roca

Se anota las fracturas por metro lineal, luego se realizará el cálculo de RQD utilizando la fórmula de Hudson 1989.

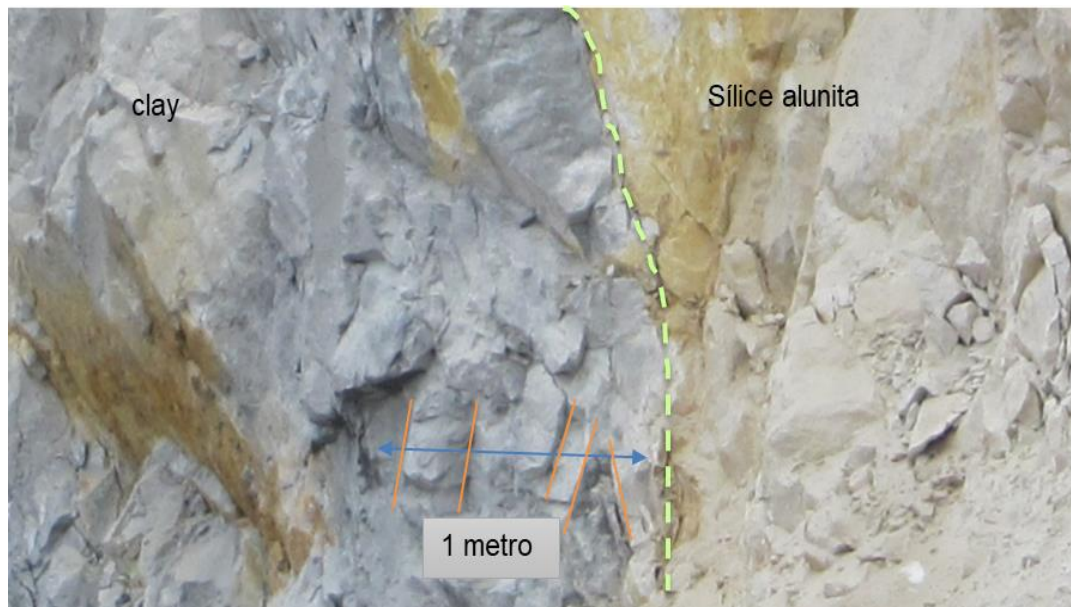
Índice de Calidad de la Roca (RQD, por sus siglas en inglés): Fue determinado mediante el registro lineal de discontinuidades, utilizando la relación propuesta por Priest

& Hudson (1986) esto ajustando en la Excel para el presente trabajo, teniendo como parámetro de entrada principal la frecuencia de fracturamiento por metro lineal.

$$RQD = (100 * EXP(-0.1 * \#fracturas)) * ((0.1 * \#fracturas) + 1)$$

De donde:

$\#fracturas$  =Número de juntas por metro lineal



**Figura 21:** Se observa en un metro lineal 5 juntas. (Fuente: *Elaboración propia, 2017*).

### 3.1.3. Elaboración del informe final.

Todos los resultados de los ensayos de laboratorio, interpretaciones de planos, información de la litológica alterada, mineralógica y geomecánica obtenida tanto en el campo como en el gabinete se plasmarán en el informe final.

## 3.2. MATERIALES, EQUIPOS Y HERRAMIENTAS

Los equipos de protección personal son mameluco con cintas reflectivas, chaleco de seguridad, zapatos con punta de acero, casco tipo jockey, lentes de seguridad, respirador con cartucho para polvo, orejeras o tapón de oídos, guantes de cuero o badana, bloqueador solar (>50fps) y correa de cuero con portapicota.



Los materiales y herramientas son la mochila de lona, tablero de aluminio o madera, A4, GPS manual, brújula, martillo Silver Schmidt, picota de geólogo, colores, portaminas, borrador de lápiz, color blanco, protactor (escala 1:1000). lupa de aumento 10X, lápiz de dureza, flexómetro de 8m, wincha de 30m (en mapeo de afloramientos fuera de la zona de operación), engrapador, bolsas de plástico para muestras referenciales, plumón de tinta indeleble (azul), lapiceros (azul y rojo), mapa local o regional según lo exija el trabajo y radio.



## CAPÍTULO IV

### CARACTERIZACIÓN DEL AREA DE ESTUDIO

#### 4.1. UBICACIÓN Y ACCESIBILIDAD

##### 4.1.1. Ubicación

El área de la mina, está ubicado al Sur del Perú, en el Distrito de Ocuwiri, Provincia de Lampa, Departamento de Puno, a una altitud entre los 4,750 y 5,050 msnm. Las coordenadas UTM de la zona mineralizada son: 8312500 N y 8313500 N, 303500 E y 305000 E. (Área de geología Arasi,2006).

##### 4.1.1.1. Clima

En la zona donde se desarrollará la unidad minera se han identificado dos tipos de climas predominantes; El Semiseco Frigido la cual abarca la mayor área del proyecto y el Semiseco Gelido que abarca en menor parte el área del proyecto, ambos climas presentan una sola estación lluviosa (durante los meses de enero, febrero y marzo) siendo por lo tanto seco en las estaciones de otoño, invierno, y primavera.

- **Temperatura:** Las temperaturas medias mensual (según reportes de la estación meteorológica de chuquibambilla, la más cercana al proyecto) fluctúan entre 2.9 y 9.3 °C; la máxima media mensuales ascienden hasta 11.3 °C, mientras que las mínimas medias mensuales desciende a 1°C, que se presenta en el mes de junio.
- **Precipitaciones:** Las precipitaciones pluviales que ocurren en el área son principalmente de origen orográfico, cuyas masas de humedad son provenientes tanto de la cuenca del Pacífico como de la cuenca del lago Titicaca. A nivel anual la precipitación promedio asciende a 703.2 mm, con una desviación estándar de 139.9 mm, lo cual implica que la mayoría de los valores fluctúa entre 843.1 mm y 563.3 mm. El valor máximo de la precipitación asciende a 1012.5 mm/año, mientras que el mínimo asciende a 362.7 mm/año;

- **Humedad:** La humedad relativa media mensual fluctúan entre 46.1 y 63.9 %; la máxima media mensuales ascienden hasta 82.0 % que se presentan en el mes marzo, mientras que las mínimas medias mensuales descienden hasta 27 %, que se presente en el mes de setiembre.
- **Viento:** La predominancia de la dirección de los vientos en ambos puntos de muestreo de la zona (Datos de la línea de base del estudio de impacto ambiental) es de norte-noreste, sin embargo, la velocidad promedio es 2.1 m/s, tendiendo un rango de fluctuaciones entre 0.0 y 5.4 m/s.

#### 4.1.2. Accesibilidad

La unidad minera Arasi Jessica se ubica en distrito de Ocuwiri, Provincia de Lampa, Departamento de Puno, entre los 4500 y 5200 msnm. es accesible por dos rutas que se describe a continuación en las tablas 14 y 15.

**Tabla 14:** Accesibilidad de ruta 01.

Ruta	Km.	Tipo de Vía	Tiempo
Lima – Arequipa	700	Aérea	1
Arequipa – Imata	145	Carretera Asfaltada	2
Imata – Dv. A Parina	50	Carretera Afirmada	1
Dv. A Parina – Parina	20	Trocha Carrozable	0.75
Parina – Proyecto	10	Trocha Carrozable	0.25
TOTAL	900	---	5

Fuente: Elaboración del área de geología Arasi, 2006

**Tabla 15:** Accesibilidad de ruta 02.

Ruta	Km.	Tipo de Vía	Tiempo
Lima - Juliaca	845	Aérea	1.5
Juliaca – Lampa	30	Carretera Asfaltada	0.5
Lampa - Palca	30	Carretera Afirmada	1
Palca – Vila Vila - Chivay	20	Trocha Carrozable	1
Chivay - Proyecto	10	Trocha Carrozable	0.5
TOTAL	935	---	4.5

Fuente: Elaboración del área de geología Arasi, 2006



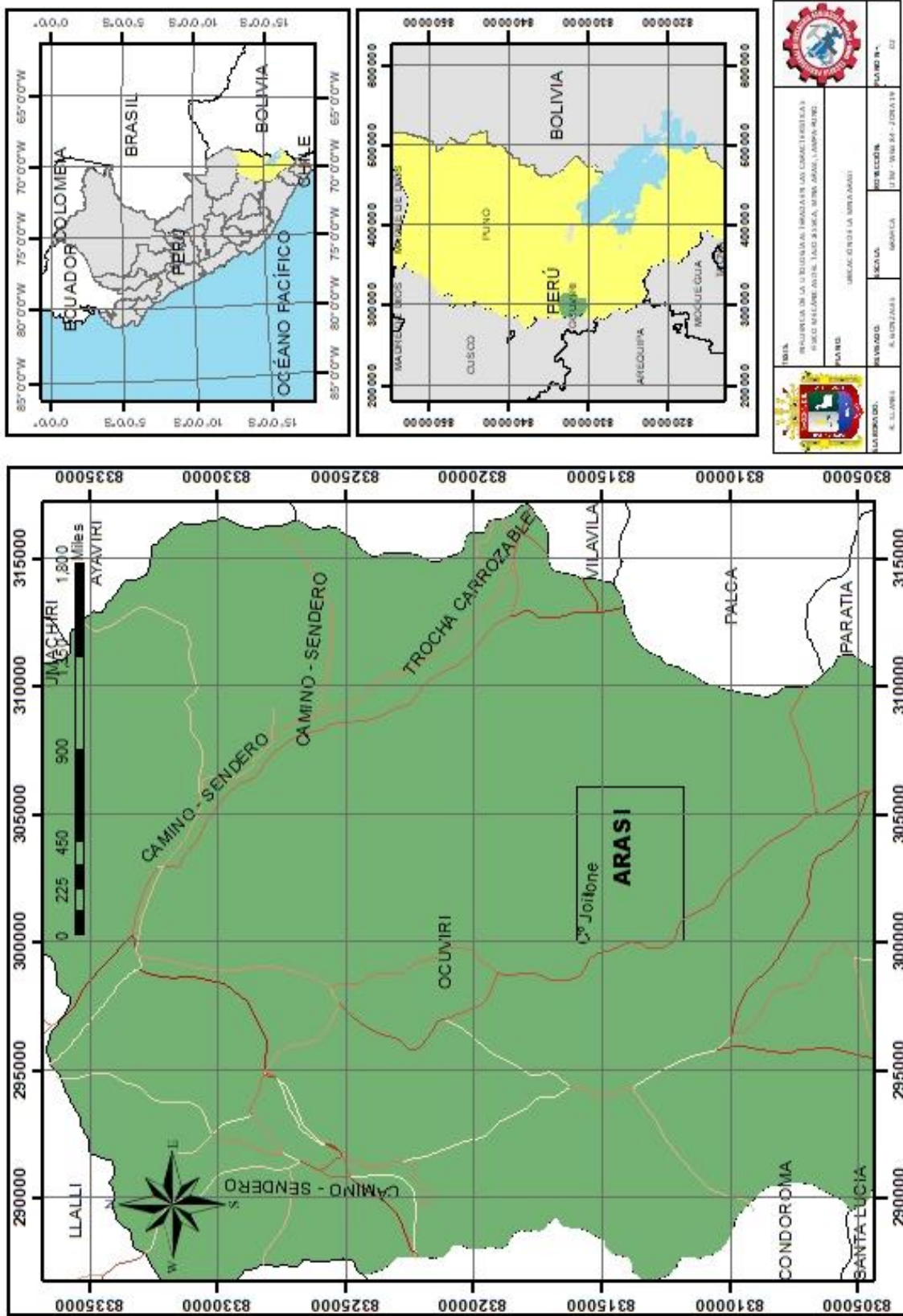
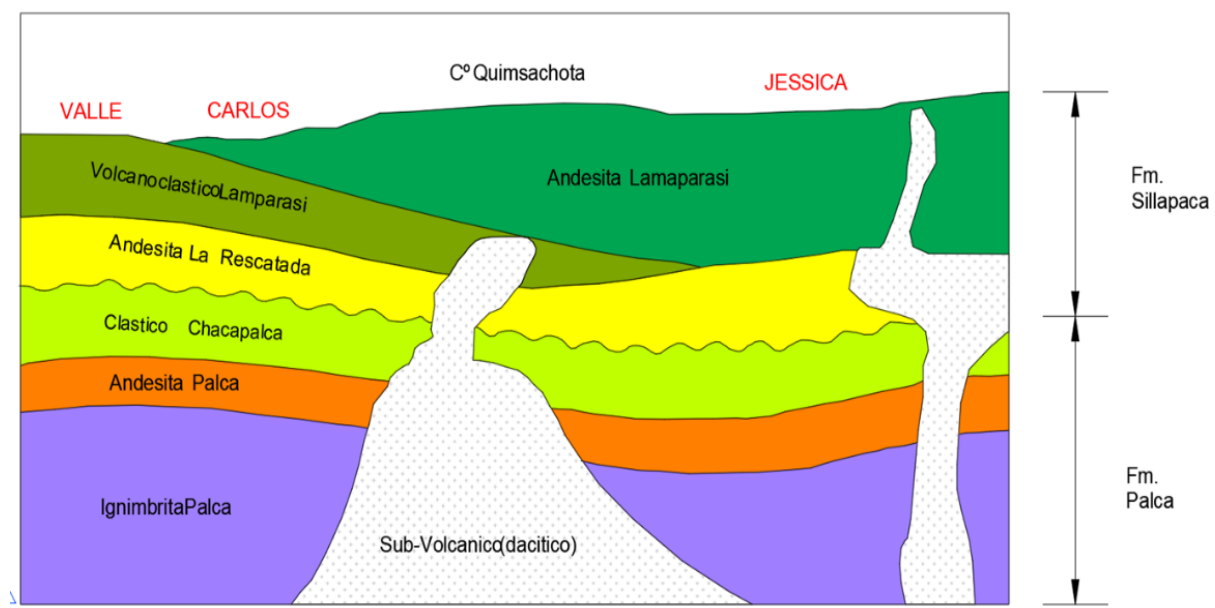


Figura 22: Ubicación de la mina Arasi. (Fuente: Elaboración propia, 2018)

## 4.2. GEOLOGÍA LOCAL

En el área de estudio se presentan rocas volcánicas terciarias y depósitos cuaternarios. En general el vulcanismo presenta tres fases de actividad, relacionadas con el Grupo Tacaza, Formación Sillapaca y Formación Palca. Las últimas fases volcánicas produjeron erupciones ignimbríticas. (Geología Arasi, 2015)

Según los estudios exploratorios previos realizados en la zona del proyecto, se han diferenciado, las siguientes formaciones y unidades litológicas:



**Figura 23:** Columna estratigráfica local del tajo Jessica. (Fuente: Geología Arasi, 2015)

### 4.2.1. Grupo Tacaza

El Grupo Tacaza (Terciario, medio - superior) consiste de rocas volcánicas constituidas por lavas andesíticas, basálticas y tufos, con olivino y augita porfirítica, de mayor exposición al noreste de la zona de estudio (Quebrada Pillini), donde descansa en discordancia sobre las rocas sedimentarias del Grupo Puno e infrayace a los volcánicos de la Formación Palca. (Geología Arasi, 2015)

El contexto geológico local está dado por las secuencias volcánicas de la Formación Sillapaca, en las sub-unidades: Andesita Lamaparasí, intruida por brechas



hidrotermales y freáticas y posteriormente por un sub-volcánico dacítico; los Volcanoclástico Lamparasi; y la Andesita La Rescatada. El Grupo Palca está conformado por las sub-unidades: Clástico Chacapalca, Andesita Palca, e Ignimbrita Palca. El Tajo Jéssica se desarrolla en gran extensión en la sub-unidad Andesita Lamparasi, que conforma el Cerro Quimsachota, el cual es el centro principal de alteración hidrotermal, evidenciado por la presencia de brechas hidrotermales y canales silíceos que intruyen las lavas andesíticas. (Geología Arasi, 2015)

El logueo geológico de taladros, realizados por Arasi S.A.C., evidencia halos de alunita y pirofilita que nos indican cercanía a la zona de altas temperaturas, además de la presencia de minerales traza como Cu, Mo, Pb y As, diferentes a las áreas Valle y Carlos, que actualmente conforman los tajos de los mismos nombres.

#### **4.2.2. Formación Palca**

##### **4.2.2.1. Ignimbrita Palca**

Es la base de la columna estratigráfica en el área del yacimiento, es una roca piroclástica que se caracteriza por presentar clastos polimícticos gruesos angulares, dacíticos y andesíticos. La matriz es rosada a blanquecina, débilmente silicificada y con presencia de biotita y fenos de plagiocasas.



**Figura 24:** Palca Ignimbrita. (Fuente: Geología Arasi, 2006)

#### 4.2.2.2. Volcanoclástico

Material volcanoclástico retrabajado. Se caracteriza por presentar clastos subredondeados clasificados en una matriz verdosa. Se observa esta secuencia al Este del Cerro Ajanani. Su potencia varía de 50 - 150 m.



**Figura 25:** Volcanoclastico. (Fuente: Geología Arasi, 2006)

#### 4.2.3. Formación Sillapaca

##### 4.2.3.1. Andesita Rescatada

Se caracteriza por presentar “flow banding” textura vesicular, plagioclasas orientadas y presentar matriz marrón rojiza. El espesor en valle llega hasta los 40 m.



**Figura 26:** Lava Rescatada. (Fuente: *Geología Arasi*, 2006)

#### 4.2.3.2. Volcanoclástico Lamparasi

Esta sub-unidad se caracteriza por presentar niveles clásticos intercalados con niveles de tufo lapilli presentando una matriz de textura “sandstone”. Brechas muy locales se aprecian en este horizonte. Este nivel se encuentra alterado en Valle y presenta espesores de hasta 100 m. Por su permeabilidad esta unidad ha sufrido intensa alteración hidrotermal y es la que hospeda el cuerpo mineralizado en Valle. Se encuentra muy fracturado, oxidado, alterado, mineralizado consecuentemente ha sufrido fuerte erosión.



**Figura 27:** Volcanoclásticos Lamparasi. Secuencia que hospeda la mineralización. (Fuente: *Geología Arasi*, 2006)

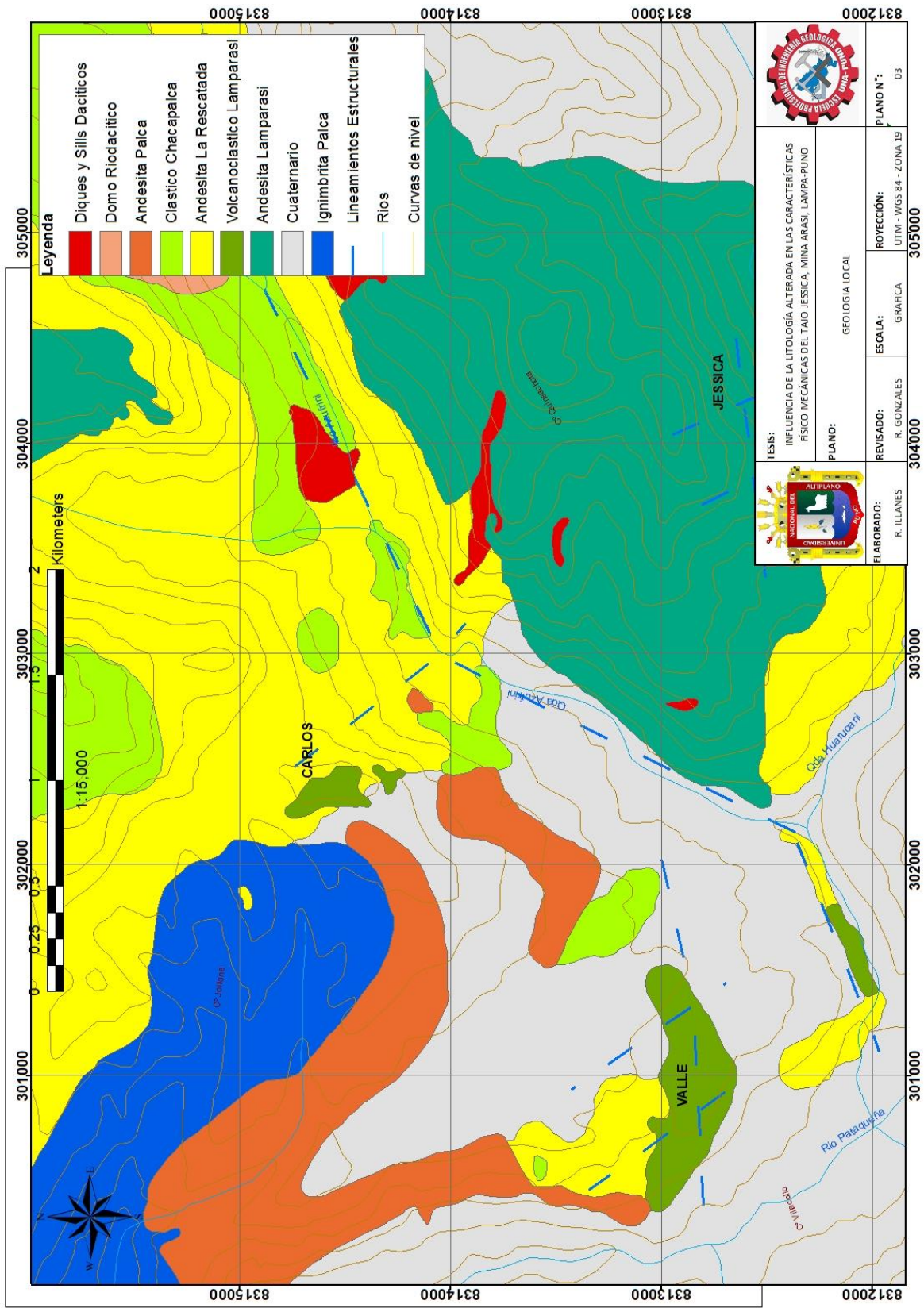


Figura 28: Plano geológico Local. (Fuente: Elaboración propia, 2017)

#### 4.3. ALTERACIONES

La alteración hidrotermal en el Tajo Jessica, es generada por la acción residual de las intrusiones de brechas hidrotermales, afectando directamente en diferente grado al mismo cuerpo intrusivo, así como a la roca huésped circundante (Andesita Lamparasi). Se reconoce un patrón de alteración muy bien definido, consiste en una zona central de sílice masiva, luego sílice granular-*vuggy* y sílice alunita, que pasa a una alteración sílice *clay*, (Geología Arasi, 2006).

En la alteración sílice masiva se observa un completo reemplazamiento de la matriz por sílice. En la alteración sílice granular-*vuggy*, se observa la desestabilización o lixiviación de gran parte de los minerales componentes originales de la roca, con excepción del cuarzo, presentándose la roca típicamente porosa.

La alteración sílice alunita se caracteriza por la abundante distribución de la alunita, rellenando las cavidades dejadas por los minerales originales lixiviados y en menor porcentaje reemplazando parte de la matriz silicificada, estas rocas también presentan pirita diseminada. La alteración sílice *clay* se encuentra limitando lateralmente la zona de alteración sílice granular-*vuggy* y sílice alunita, donde los minerales primarios de la roca volcánica a excepción del cuarzo, han sido completamente alterados a diversos tipos de arcillas. (Geología Arasi, 2006).

#### 4.4. MINERALIZACIÓN

En el yacimiento Jessica, se tiene un sistema hidrotermal con un tipo de mineralización consistente en brechas hidrotermales, provenientes directamente de la actividad magmática residual de los cuerpos intrusivos, emplazados a lo largo de la estructura mineralizada.



Existe una correspondencia de leyes de oro con brechas hidrotermales con matriz rellena de óxidos de Fe (jarosita, goethita) y clastos silicificados diseminando la roca andesítica previamente preparada por eventos de silicificación. La baritina es otro indicativo de la buena relación con el oro. (Geología Arasi, 2006).

#### **4.4.1. Zona de Óxidos / Sulfuros**

La zona de óxidos está comprendida desde los niveles superiores 5056 hasta los 4,870 msnm en la zona oeste y 4,770 msnm en la parte central del tajo. Por debajo de esta cota está gradando hacia la zona de sulfuros (Geología Arasi, 2006).

#### **4.5. GEODINÁMICA EXTERNA**

Dentro del área de estudio, no se ha determinado ningún indicio de producirse fenómeno alguno de geodinámica externa, como deslizamientos, remoción en masa, desprendimiento de bloques o caída de rocas que comprometa y que pudiera poner en riesgo el tajo proyectado, ya que la geomorfología y topografía del terreno ayudan a la estabilidad en toda la zona. Por otro lado, no se han detectado posibles fallas geológicas que pudieran activarse en el proceso de explotación del tajo y que pudieran comprometer y poner en riesgo al personal y equipo de la empresa. (Geología Arasi, 2006).

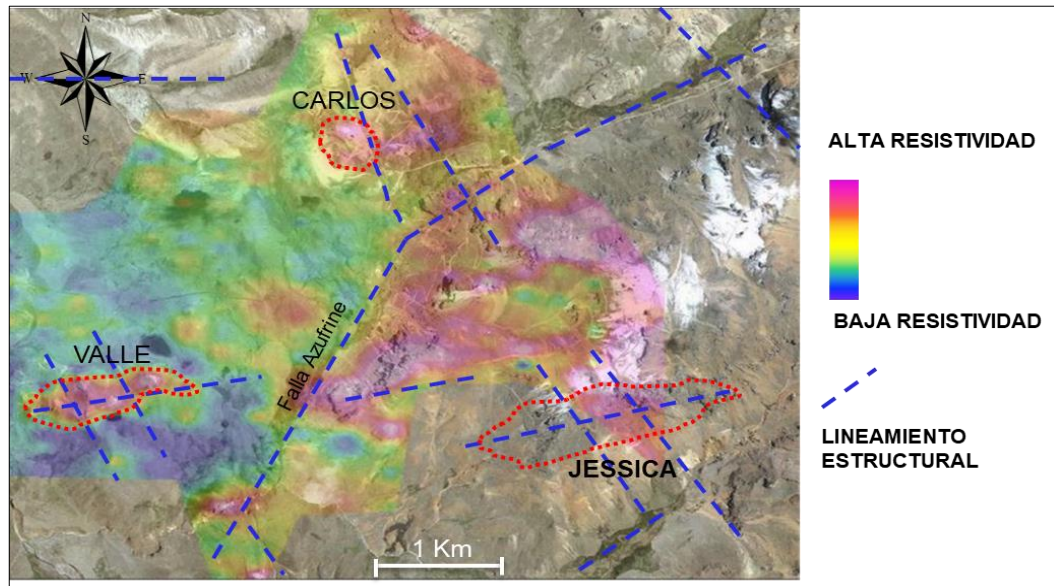
Desde el punto de vista del drenaje, no será necesario construir canales de coronación alrededor del tajo, puesto que las aguas de escorrentía discurrirán naturalmente pendientes debajo de las laderas ubicadas alrededor del futuro tajo. Cabe mencionar que el tajo estará ubicado en la cumbre del cerro Quimsachota

#### **4.6. ESTRUCTURAS GEOLÓGICAS**

Fallas de tendencia E-W determinan la elongación del cuerpo mineralizado, principalmente dominado por estructuras N80° E, trasandino, cortando a estructuras N30° W, paralelas al rumbo andino (Geología Arasi, 2006).



Existe un fuerte control estructural ocurrido antes, durante y después del evento de mineralización. El sistema de fracturas sigue un rumbo  $N80^{\circ}E$ , el cual al interceptarse con los sistemas  $N35-45^{\circ}W$  crearon los canales donde ascendieron los fluidos hidrotermales. El control E-NE se observa en el cerro Ajanani. Regionalmente el sistema principal tiene un rumbo  $N45^{\circ}W$  (Geología Arasi, 2006).



**Figura 29:** Relación de la mineralización y estructuras geológicas (lineamiento estructural). (Fuente: Geología Arasi, 2006)



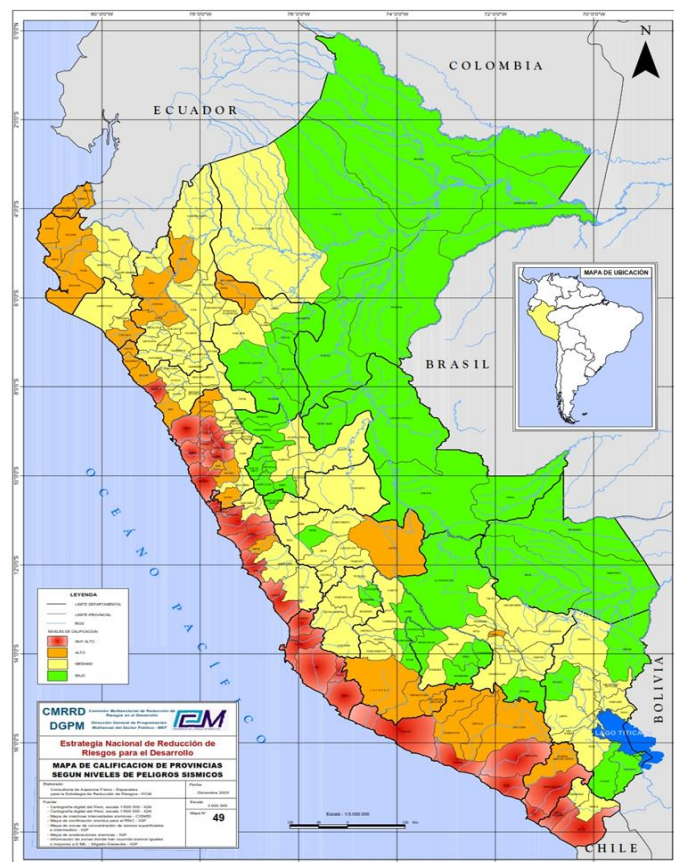
**Figura 30:** Vista Mirando al W. Se aprecia la falla Azufrine de  $Rb N45^{\circ}E$  en zona de debilidad estructural entre el C° Quimsachota y el Ajanani. (Fuente: Geología Arasi, 2015)

## 4.7. SISMICIDAD

La zona de estudio, por hallarse en la zona Sur del Perú, se ubica regionalmente en una zona de elevada actividad sísmica, donde relativamente es posible esperar la ocurrencia de sismos. Sin embargo y como es de conocimiento, la región altiplánica de Puno (de la cual forma parte en mayor proporción al área del proyecto) constituye una zona de silencio sísmico y siendo el área del proyecto parte conformante de dicha zona, resulta acertado considerar a esta área como de baja a media intensidad. (Geología Arasi, 2006).

### 4.7.1. Zonificación Sísmica

Según la Zonificación sísmica del Perú del IGP, en esta zona se espera sismos de magnitudes leves a moderadas.



**Figura 31:** Mapa de calificación de provincias según niveles de peligros sísmicos.  
(Fuente: Consultoría de Aspectos Físico – Espaciales para la Estrategia de Reducción de Riesgos - PCM)

## CÁPITULO V

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 5.1. DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA DE LA LITOLOGÍA ALTERADA

El tajo Jessica es un yacimiento epitermal de alta sulfuración. El zoneamiento característico de este tipo de depósitos parte de un núcleo silíceo constituido de cuarzo poroso, la cual alberga la parte más importante de la mineralización económica seguido de alteración argílica avanzada (ver la figura 1), el tajo Jessica tiene el siguiente zoneamiento ver la tabla 16 que es un resumen de las alteraciones presentes en el tajo.

**Tabla 16:** Zoneamiento de la alteración del tajo Jessica.

Zoneamiento	Alteraciones Tajo Jessica	Minerales
Silicificación	Sílice Vuggy (SV)	Cuarzo y óxidos de hierro.
	Sílice Granular (SG)	Cuarzo y óxidos de hierro y ocasionalmente arcillas
	Sílice Masiva (SM)	Cuarzo secundario y arcillas producto de reemplazamiento.
Argílica avanzada	Sílice Alunita (SA)	Cuarzo microcristalina, alunita y arcillas
	Sílice Clay (SC)	Cuarzo secundario y caolinita
	Sílice Clay Pirita (SCP)	Cuarzo secundario ,caolinita y pirita diseminado.
	Clay ( C )	Minerales arcillosos Caolinita, y algunos cristales amorfos de cuarzo.

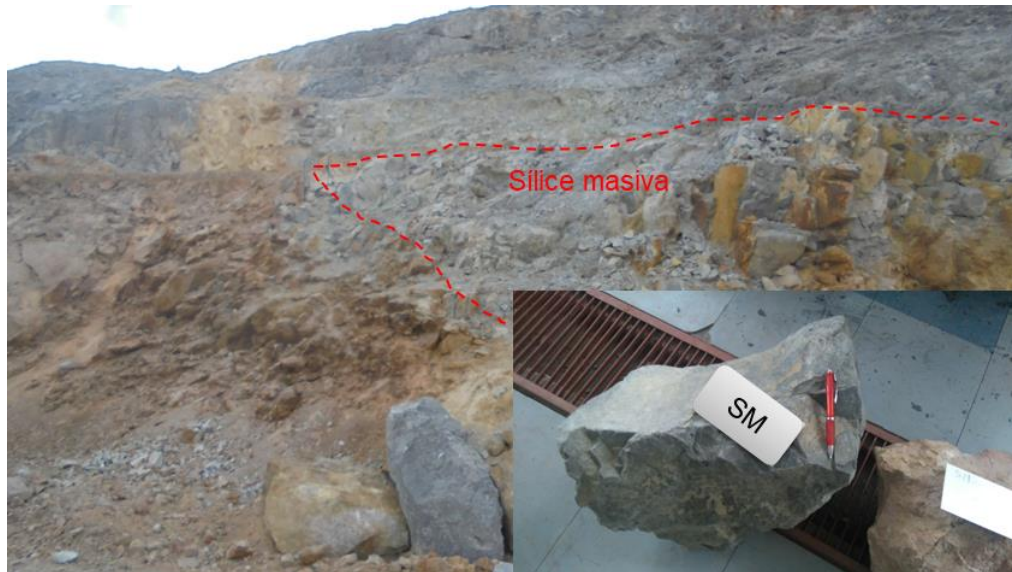
*Fuente: Elaboración propia*



**Figura 32:** Se observa las muestras de las diferentes alteraciones para respectivo corte de las secciones delgadas. (*Fuente: Elaboración propia, 2019*)

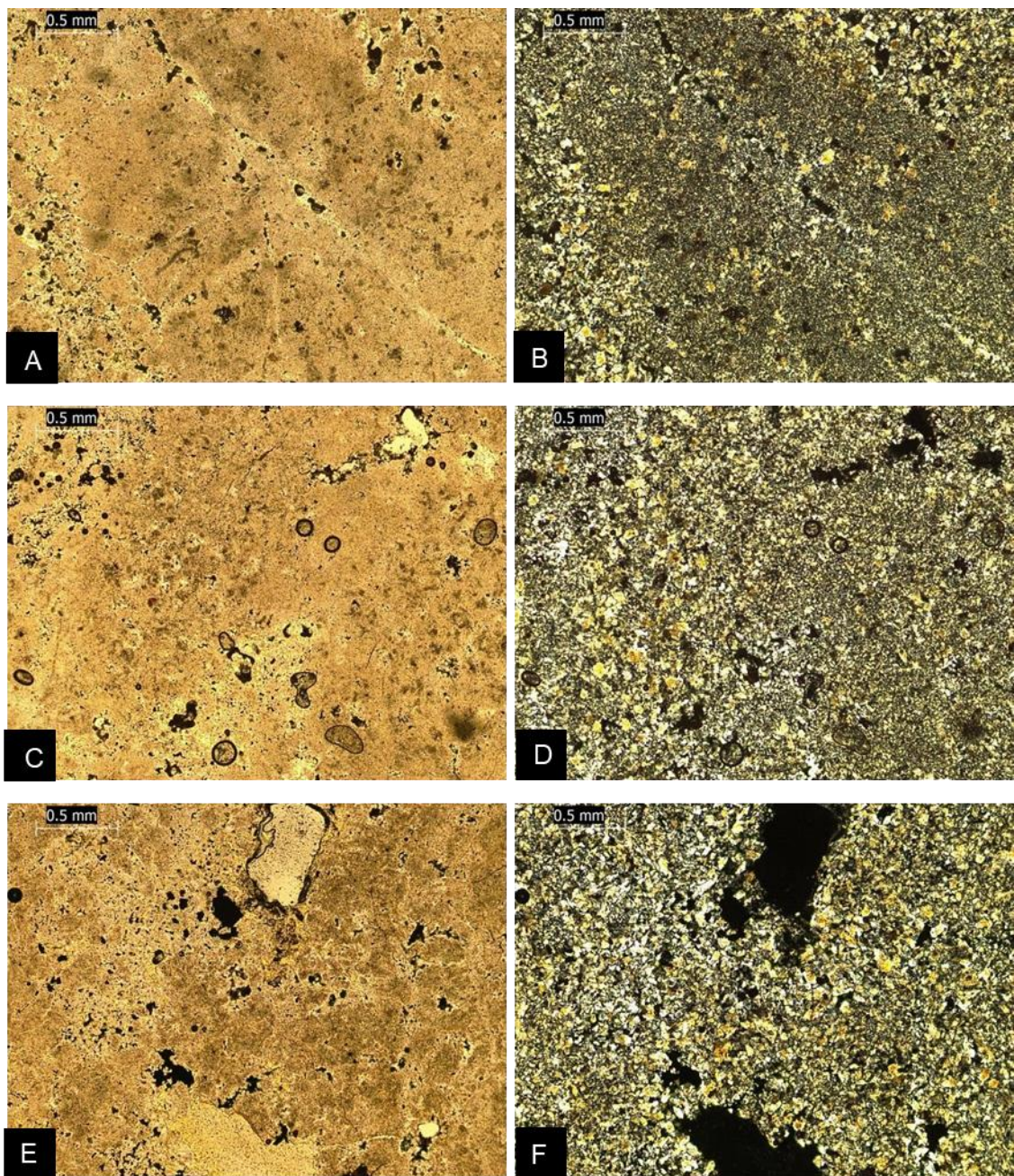
### 5.1.1. Alteración sílice masiva.

En el tajo la alteración sílice masiva presenta coloraciones grises, en el cual ocurre fuerte fracturamiento luego de la etapa de voladura, aquí se distingue fracturas frescas; en cambio en los planos de diaclasamiento se observan óxidos de hierro, producto del hidrotermalismo ocurrido en la zona (ver figura 33).



**Figura 33:** Alteración sílice masiva. (Fuente: Elaboración propia, 2019).

En la descripción microscópica en nicóles paralelos y nicóles cruzados con objetiva 4x. (A, B y C, D) se observa microcristales de cuarzo secundario y arcillas producto de reemplazamiento; también ocurren microvenillas con espesores de 0.1mm que están rellenos de minerales opacos; estas venillas se presentan en forma paralela. E y F) similar a los anteriores, pero además se reconocen oquedades de tamaños promedio de 0.7 mm. Esta alteración en muestra de mano es muy compacta y frágil; dentro del tajo está relacionada a zonas con poca mineralización. La muestra corresponde a una Hidrotermalita, cuyo protolito posiblemente corresponda a una roca volcánica piroclástica, la cual se muestra intensamente reemplazada por cuarzo micro a criptocristalino, alunita y arcillas. La presencia de cavidades rellenas por esfena y óxidos de hierro (ver figura 34) puede indicar cierta debilidad en el proceso de voladura.

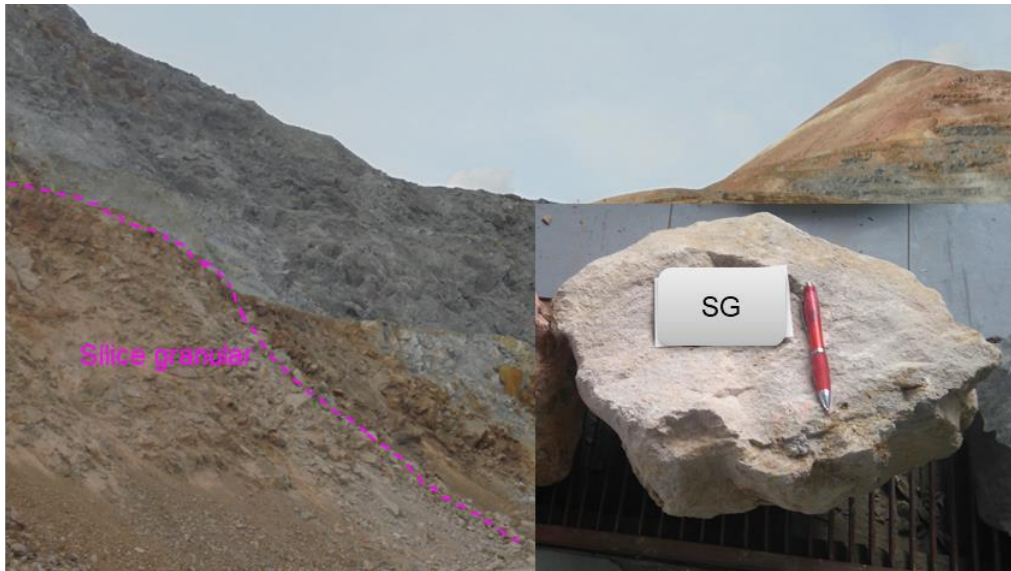


**Figura 34:** Fotomicrografía de la alteración sílice masiva. (Fuente: *Elaboración propia, 2019*).

El microfracturamiento y la homogeneidad mineralógica que se observa en las secciones delgadas tiene mucha influencia en la iniciación de la voladura en este tipo de litológica. Además, este tipo litológico por su densidad requiere más energía para una buena fragmentación.

### 5.1.2. Alteración sílice granular

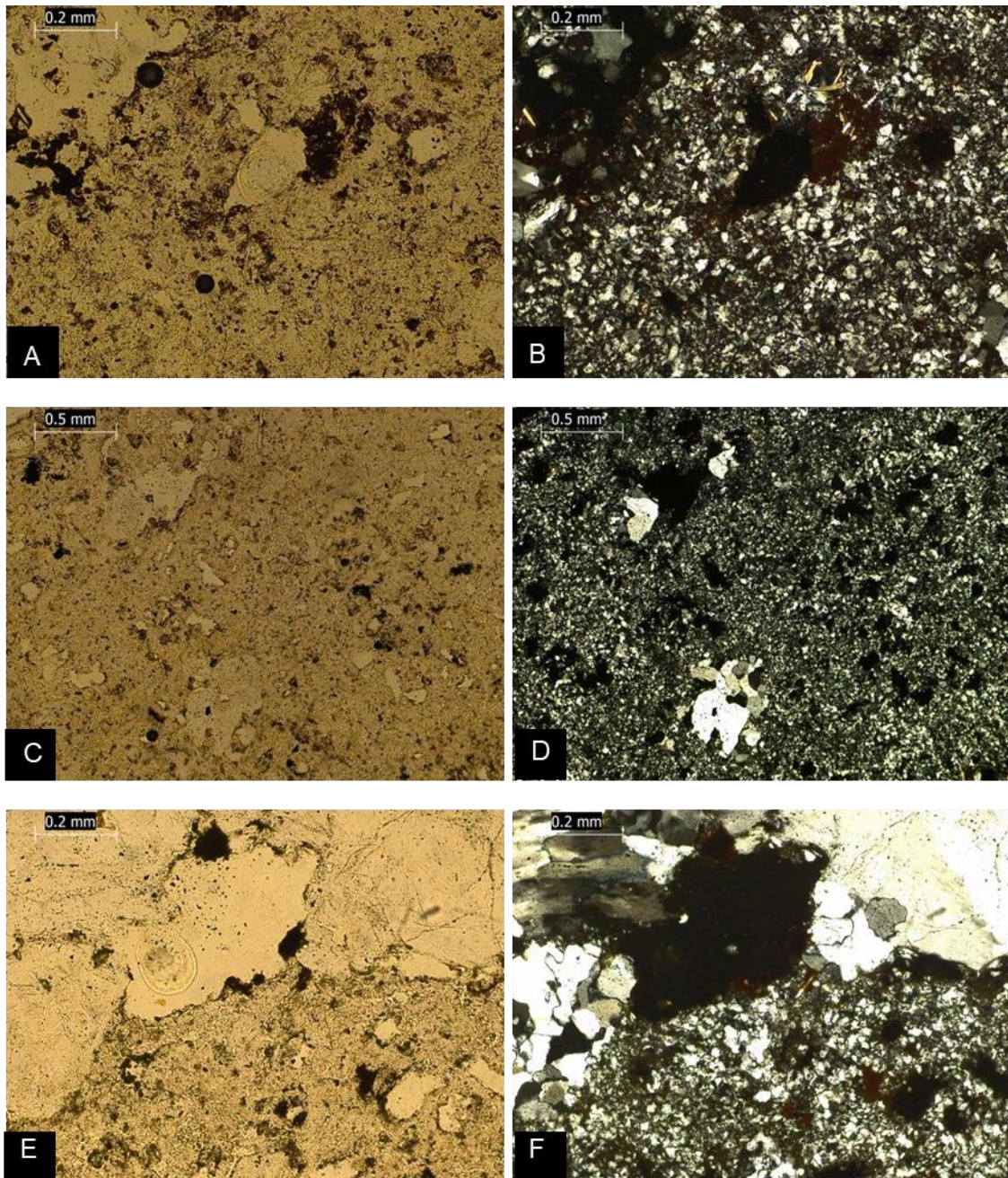
En el tajo la alteración sílice granular se presenta con una coloración amarilla a roja, por la presencia de óxidos, en algunos casos estos presentan tonalidades claras cuya característica es la textura granular o granoblástica (ver figura 35).



**Figura 35:** Alteración sílice granular. (Fuente: *Elaboración propia*, 2019)

La caracterización microscópica de las muestras de este tipo de alteración indica lo siguiente; en nicoles paralelos y nicoles cruzados con objetiva 4x y 10x. Las fotomicrografías (A, B y C, D) demuestran minerales de cuarzo secundario producto de hidrotermalismo (de textura granoblástica), diseminación de minerales opacos y oquedades producto de disolución de minerales primarios.

Se ven también típicas concentraciones de cuarzo producto de reemplazamiento de otros minerales de manera dispersa; estos se encuentran en una matriz de microcristales de cuarzo y ocasionalmente arcillas. Las fotomicrografías E y F muestran oquedad de 0.4 mm, el cual tiene en sus bordes minerales de óxido de hierro relacionados a minerales opacos, al parecer de biotitas (ver figura 36). La presencia de oquedades que pueden influir en la velocidad de detonación.

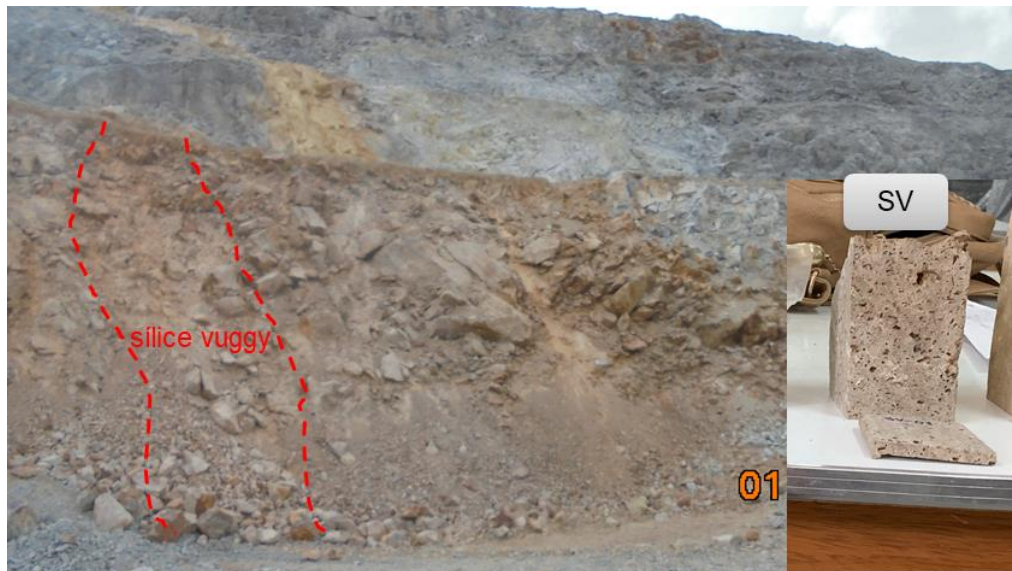


**Figura 36:** Fotomicrografía alteración sílice granular. (Fuente: *Elaboración propia*, 2019)

La heterogeneidad mineralogía de este tipo litológico tiene influencia en la voladura porque muestra entre granos rellenos de arcilla y oquedades, lo cual hace que se disminuya la potencia de voladura.

### 5.1.3. Alteración sílice *vuggy*

Esta alteración, en el tajo tiene poca presencia, se limita a pequeños cuerpos dispersos relacionados a estructuras mineralizadas vetiformes, tiene una coloración de rosado con tonalidades claras con ocurrencia de óxidos en oquedades (ver figura 37).

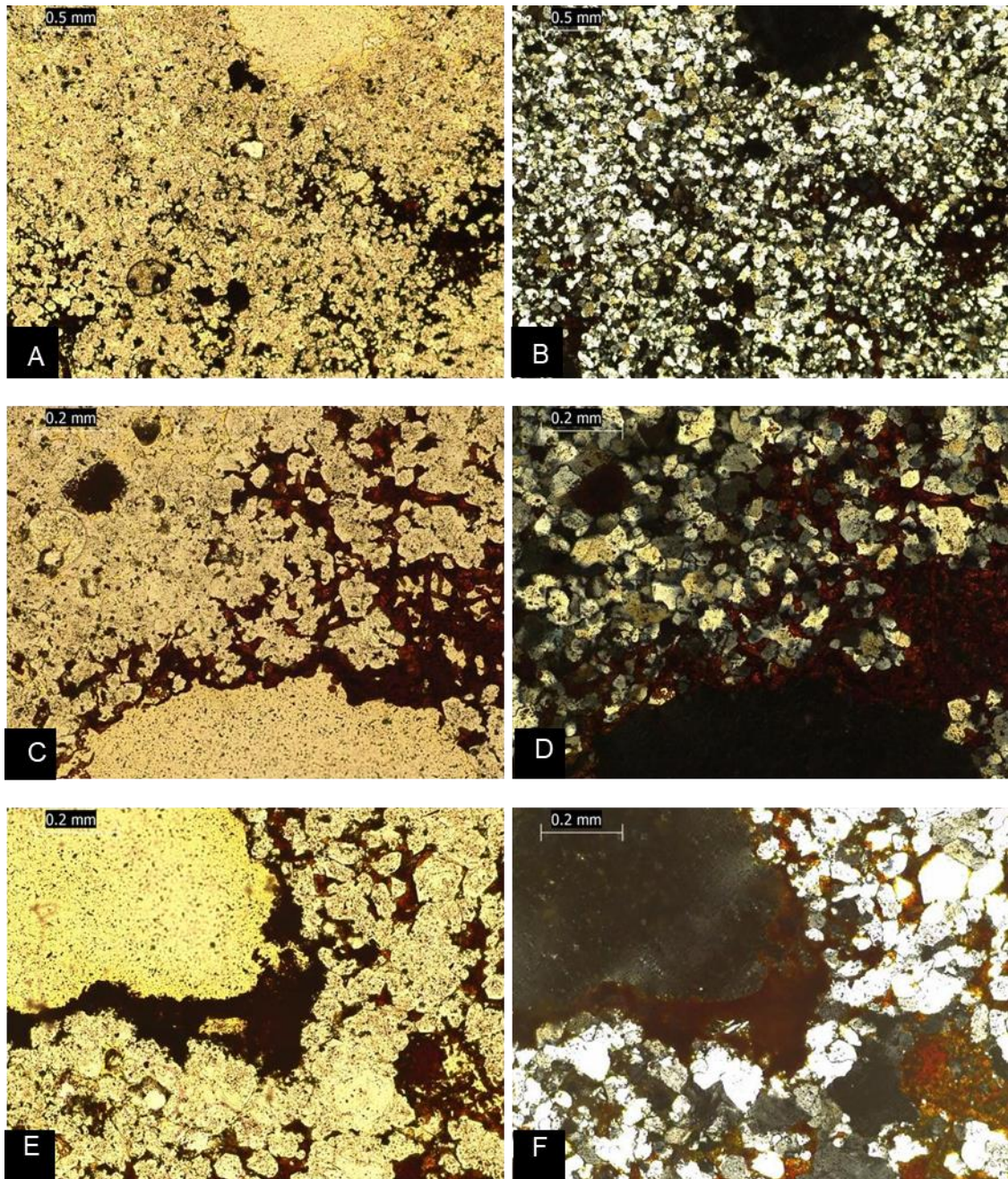


**Figura 37:** Alteración sílice *vuggy*. (Fuente: Elaboración propia, 2019).

En el análisis microscópico con nicols paralelos, nicols cruzados y objetiva 4x de las fotomicrografías A y B, muestran microcristales de cuarzo secundario menores a 0.1mm, con formas anhedrales producto de reemplazamiento en el protolito inicial; oquedades con formas anhedrales 10%.

Las fotomicrografías C, D, E y F con objetiva 10x muestran en nicols paralelos y cruzados, oquedades rellenas de óxidos de hierro en una matriz de microcristales de cuarzo secundario; las oquedades varían en tamaño desde 0.2 hasta 1 cm. Esta alteración en muestra de mano es compacta, presenta porosidad y esta mineralizada (ver figura 38).





**Figura 38:** Fotomicrografía alteración sílice *vaggy* o sílice oquerosa. (Fuente: Elaboración propia, 2019)

La porosidad que presenta la sílice *vuggy* (50%) influye directamente en la voladura, por hace perder la eficiencia en el proceso de extracción de mineral. La fragmentación de roca mineralizada es importante para la recuperación de oro.

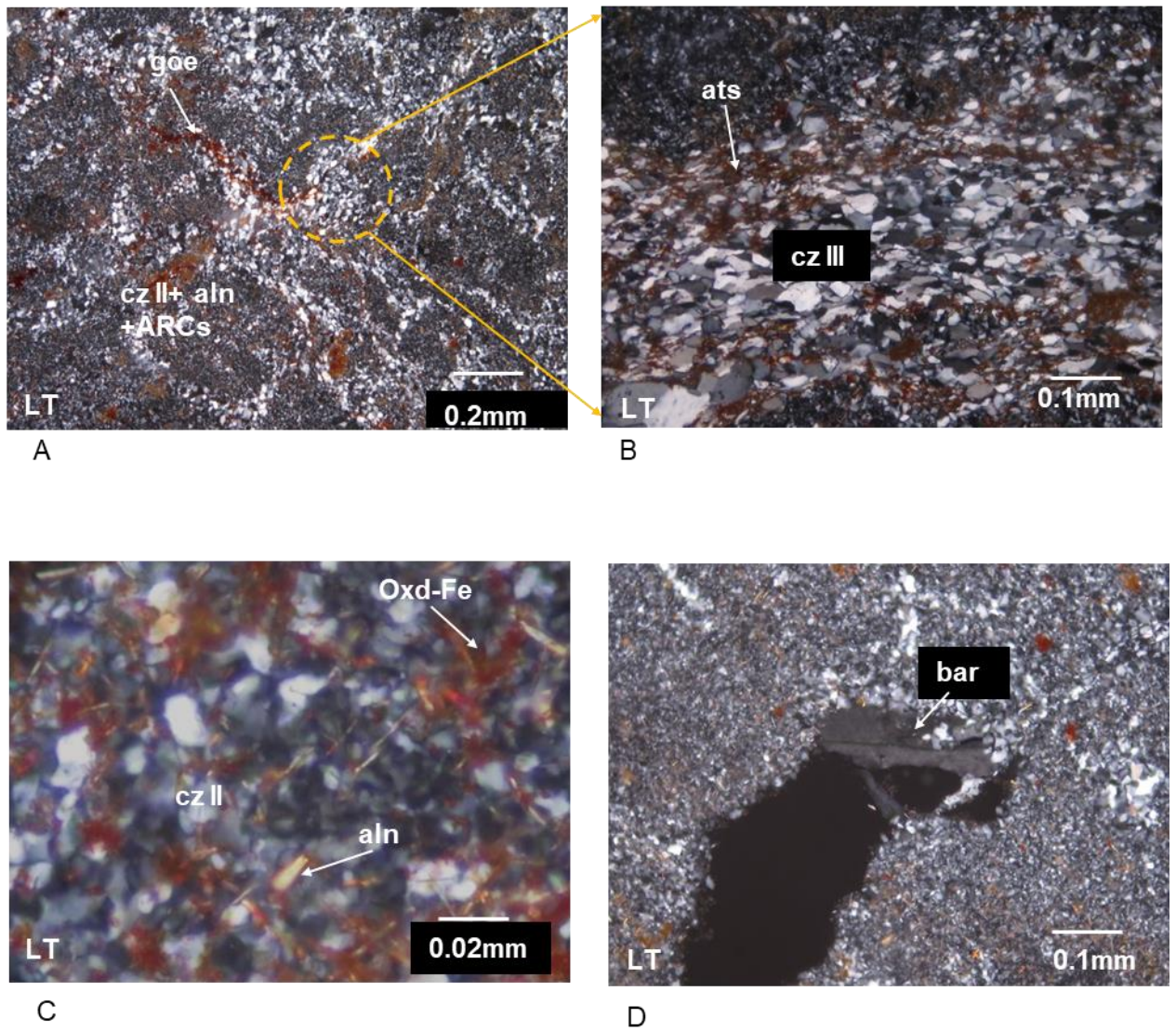
#### 5.1.4. Alterción sílice alunita

En el tajo la sílice alunita presenta coloraciones rosada con tonalidades claras, esta alteración no presenta altos contenidos de oro, normalmente se encuentra en los bordes de los centros con alta mineralización (silice *vuggy*), ver figura 39.



**Figura 39:** Alteración sílice alunita. (Fuente: Elaboración propia, 2019)

Las fotomicrografías A a B- C y D) muestran una hidrotermalita con protolito andesítico, el cual está conformado por cuarzo microcristalino (cz II), alunita (aln) y arcillas (ARCs). Esta alteración muestra numerosas microfracturas rellenas por cuarzo III (cz III) la cual se aprecia recristalizada y deformada y acompañada por anatasa (ats). La fotomicrografía C presenta cuarzo microcristalino (cz II) acompañado de alunita (aln) con hábitos aciculares y óxidos de hierro (oxd-Fe). La fotomicrografia D) muestra cavidades rellenas por baritina (bar) rodeada por cuarzo microcristalino (cz) y arcillas (ARCs), ver figura 40.



**Figura 40:** Fotomicrografía alteración sílice alunita. (Fuente: Geología Arasi, 2006)

La alteración sílice alunita tiene comportamiento similar a la alteración sílice granular en cuanto a la rotura de la roca.

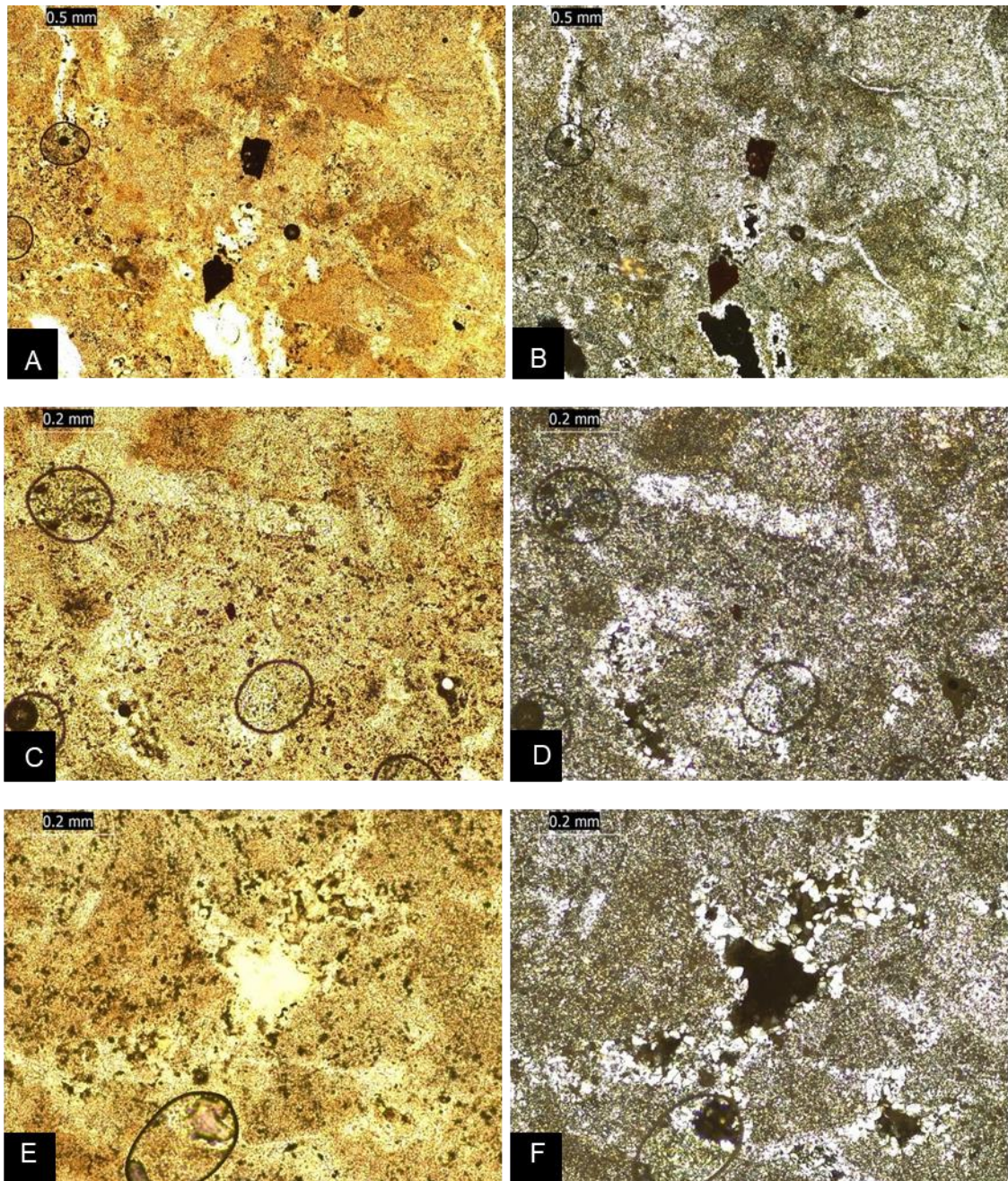
### 5.1.5. Alteración sílice *clay*

En el tajo la alteración sílice *clay* presenta coloraciones blancas a amarillas con tonalidades claras; la coloración amarilla está relacionada a la presencia de caolinita con diseminaciones esporádicas de sulfuros; esta alteración no presenta ocurrencias significativas de mineralización y se encuentra muy alejado de los centros mineralizados (ver figura 41).



**Figura 41:** Alteración sílice *clay*. (Fuente: Elaboración propia, 2019).

En estudio microscópico, para nicoles paralelos y nicoles cruzados con objetiva 4x, las fotomicrografías A y B muestran diseminaciones de minerales opacos con tamaños menores a 0.5mm; por la forma cubica se asume que es Pirita. Con la objetiva 10x en nicoles paralelos y nicoles cruzados (fotomicrografía C y D) se observa huellas de minerales con formas tabulares alargado de la roca madre. Las fotomicrografías E y F indica ocurrencia de minerales opacos, en donde se observa que están bordeados por cuarzo secundario en una matriz de arcillas (caolinita esencialmente). Esta alteración en muestra de mano es deleznable, poco compacta y presenta porosidad 2% (ver figura 42).



**Figura 42:** Fotomicrografía alteración sílice clay. (Fuente: *Elaboración propia*, 2019)

El comportamiento en rotura de roca de este tipo de alteración es similar a la alteración sílice alunita. La presencia de arcilla disminuye la velocidad de voladura y esto hace que las paredes de banco tengan un perfil adecuado cumpliendo el diseño de talud.

### 5.1.6. Alteración sílice *clay* pirita

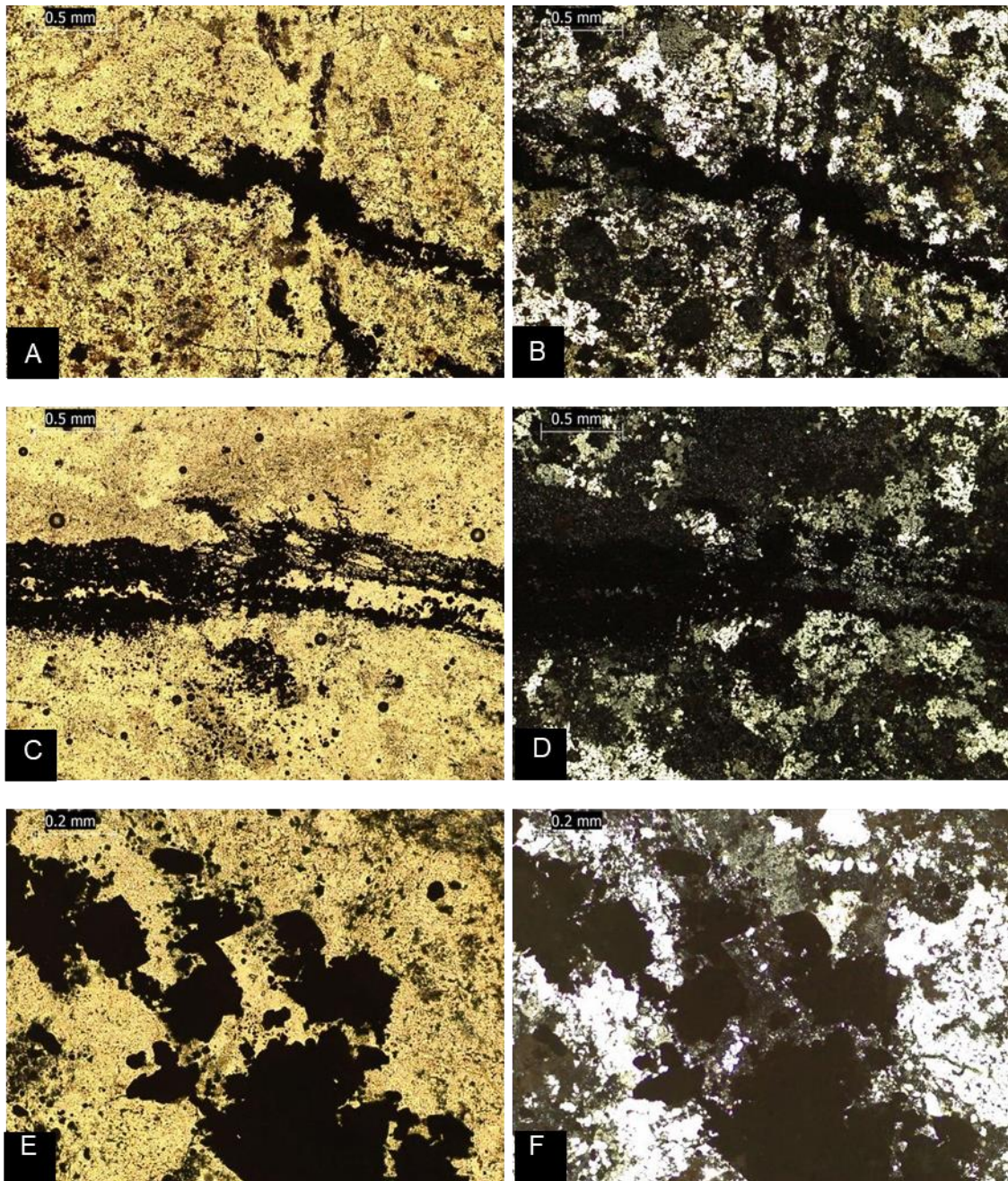
En el tajo la alteración sílice clay pirita, se presenta sobre los 4700 m.s.n.m, en el cual se aprecia la ocurrencia diseminada de cristales de pirita, las coloraciones de este tipo de alteración son grises oscuros (ver figura 43). Presenta mineralización importante pero la recuperación es costosa.



**Figura 43:** Alteración sílice *clay* pirita. (Fuente: Elaboración propia)

En estudio petrográfico, en nicoles paralelos y nicoles cruzados con objetiva 4x, según las fotomicrografías (A, B, C y D) se observa minerales de tamaños micrométricos de cuarzo secundario y arcillas (caolinita) de formas anhedrales.

Presenta microvenillas 0.2 mm de espesor, rellenos por minerales opacos; las fotomicrografías (E y F) con objetiva 10x y en nicoles paralelos y cruzados; muestran huellas de minerales opacos con cristalización cubica posiblemente Pirita en forma diseminada (ver figura 44).



**Figura 44:** Fotomicrografía alteración sílice clay pirita más sulfuros. (Fuente: Elaboración propia, 2019)

Por su composición mineralógica y densidad, requiere mayor implementación de explosivos, lo cual repercute en costos, durante la etapa de extracción de mineral. En el tajo tienden a no llegar al diseño de talud.

### 5.1.7. Alteración *clay*

En el tajo la alteración *clay* (argílica) presenta coloraciones grises con tonalidades verde claras (ver figura 45), generalmente ocurren como cuerpos alargados en el centro del tajo y en los bordes se presentan de manera masiva cubriendo el sistema hidrotermal.

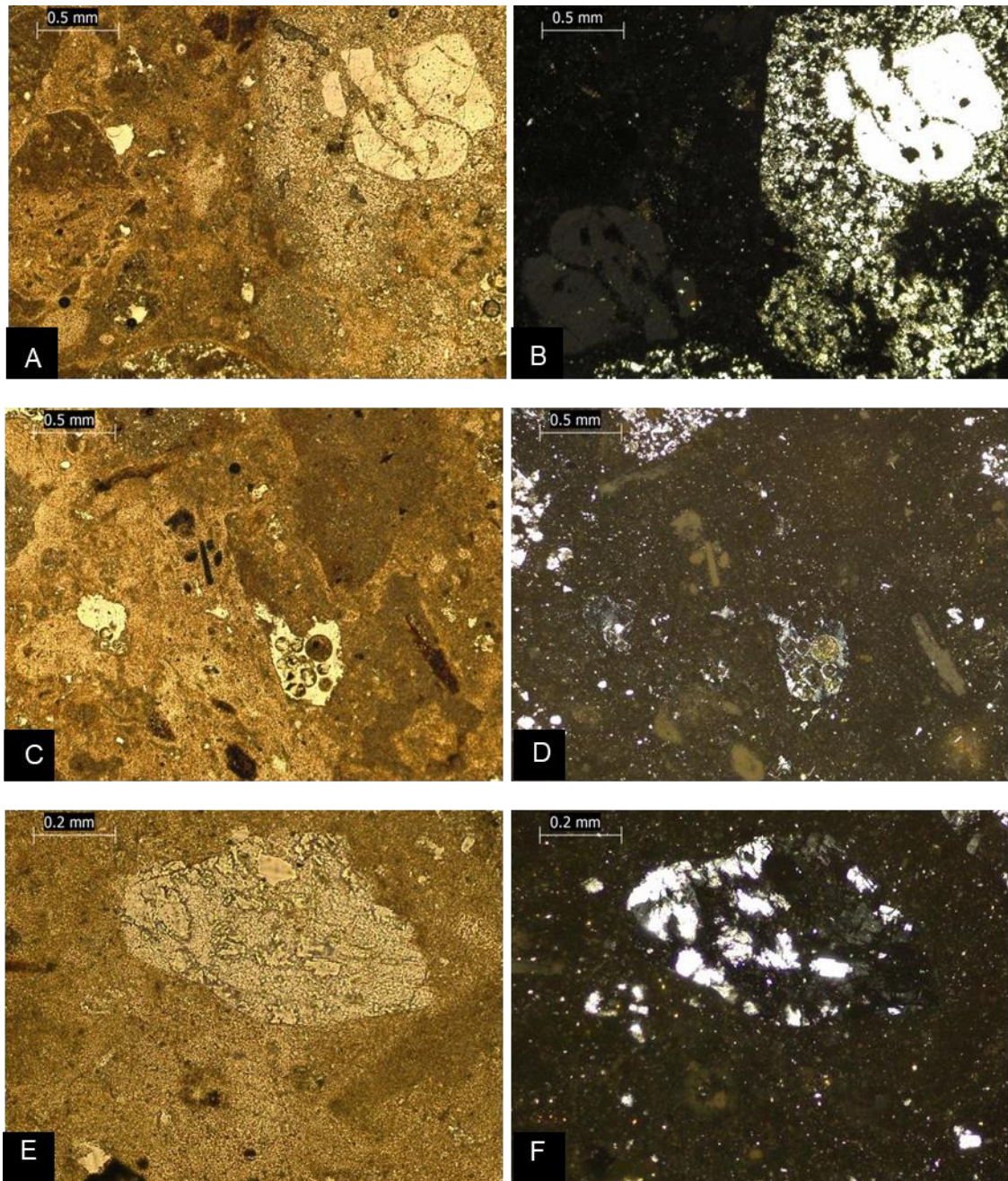


**Figura 45:** Alteración *clay*. (Fuente: Elaboración propia).

Las fotomicrografías (A - B y C - D), en nicoles paralelos y nicoles cruzados con objetiva 4x, muestran minerales arcillosos (Caolinita) y algunos cristales amorfos de Cuarzo secundario, las arcillas actúan como matriz. También se reconocieron huellas con formas de clastos de roca, pertenecientes a minerales ferromagnesianos y minerales opacos (menos al 1%).

En las fotomicrografías (E y F) con objetiva 10x, se observa formas de minerales ferromagnesianos reemplazados por arcilla; esta alteración en muestra de mano es poco compacta, dentro del tajo se presenta en áreas extensas, sin mineralización económica (ver figura 46).





**Figura 46:** Fotomicrografía alteración clay. (Fuente: Elaboración propia, 2019)

Luego del proceso de voladura los frentes de bancos en este tipo de litología no quedan muy perfilados, motivo por el cual requieren trabajo con maquinaria, esto para lograr en ángulo de banco y pie de talud.

### 5.1.8. Roca Fresca

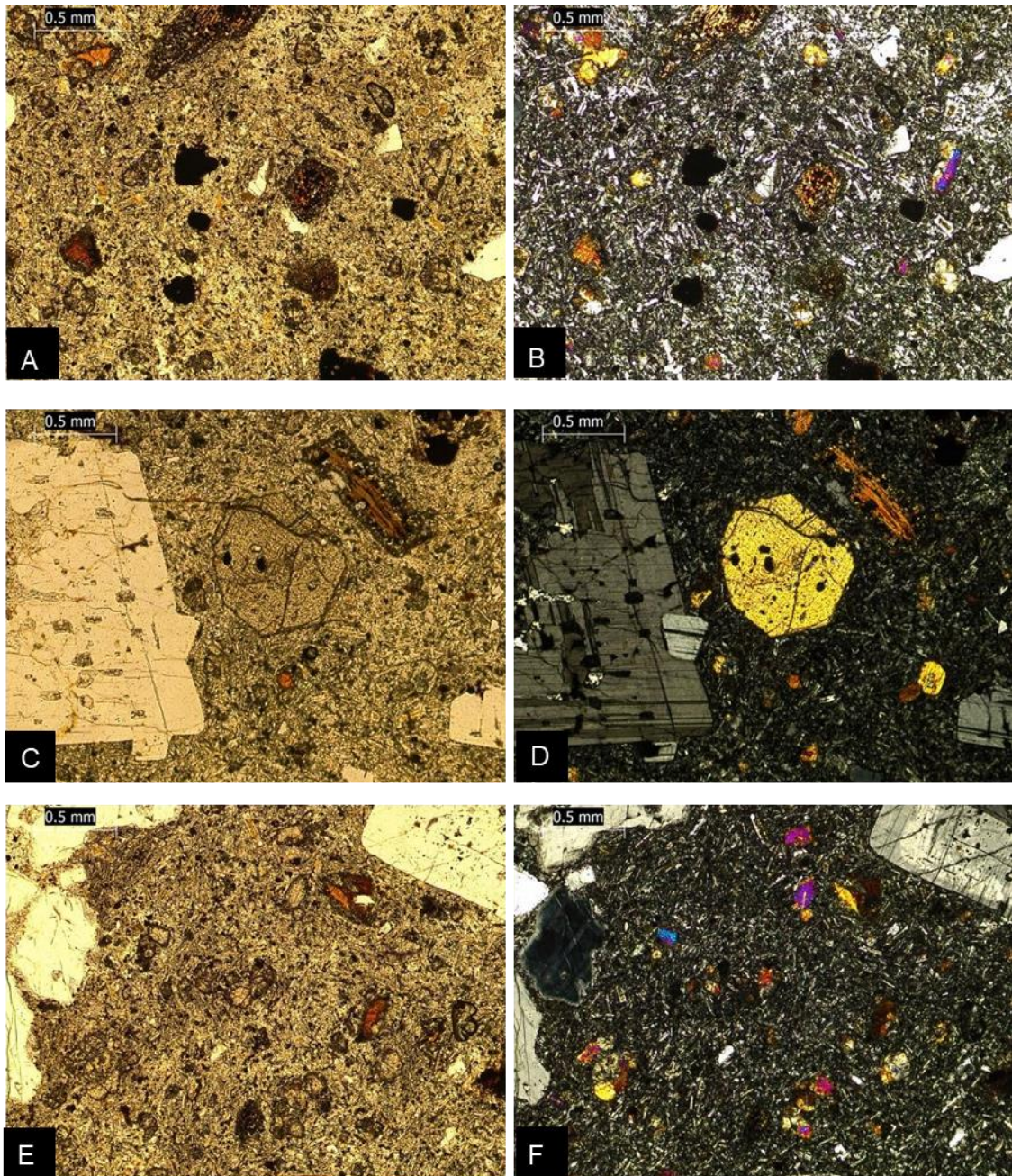
En el tajo la roca fresca se presenta como cuerpos circulares pequeños, que tienen diámetros entre 2 a 5 m, sobre los 5000 m.s.n.m la roca fresca cubre el sistema hidrotermal con fracturamiento moderado (parte superior del tajo), ver figura 47.



**Figura 47:** Roca fresca (andesita). (Fuente: Elaboración propia).

Se determinó según estudio petrográfico que el protolito de la alteración en la zona de estudio es una roca volcánica de composición andesita. En nicoles paralelos y nicoles cruzados con objetiva 4x, la fotomicrografía (A, B y C, D) muestra minerales principales de plagioclasas de formas euhedrales con típico maclado, y ferromagnesianos como Piroxenos y Biotitas diseminadas, con proceso de alteración débil.

En las fotomicrografías (E y F) se reconoce Biotitas y piroxenos; como minerales accesorios minerales opacos diseminados con tamaños promedio de 0.1mm. Esta litología en muestra de mano es compacta y presenta fracturamiento; dentro del tajo se presenta con pequeños cuerpos alargados y dispersos (ver figura 48).



**Figura 48:** Fotomicrografía roca fresca. (Fuente: *Elaboración propia, 2019*)

Este tipo litológico no presenta mineralización económica, por lo cual en algunos sectores del tajo tienen que ser perfilados para cumplir el diseño. En la literatura existe información variada sobre el manejo de esta roca durante el proceso de extracción de mineral.

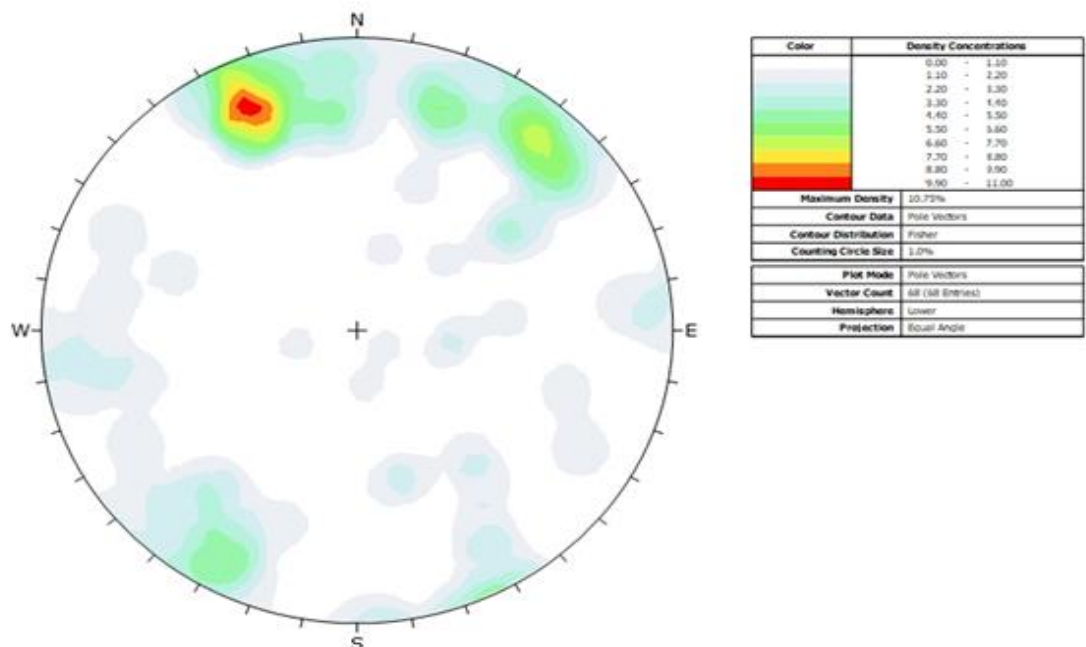
## 5.2. CARACTERIZACIÓN DEL MACIZO ROCOSO

### 5.2.1. Distribución de discontinuidades del tajo Jessica

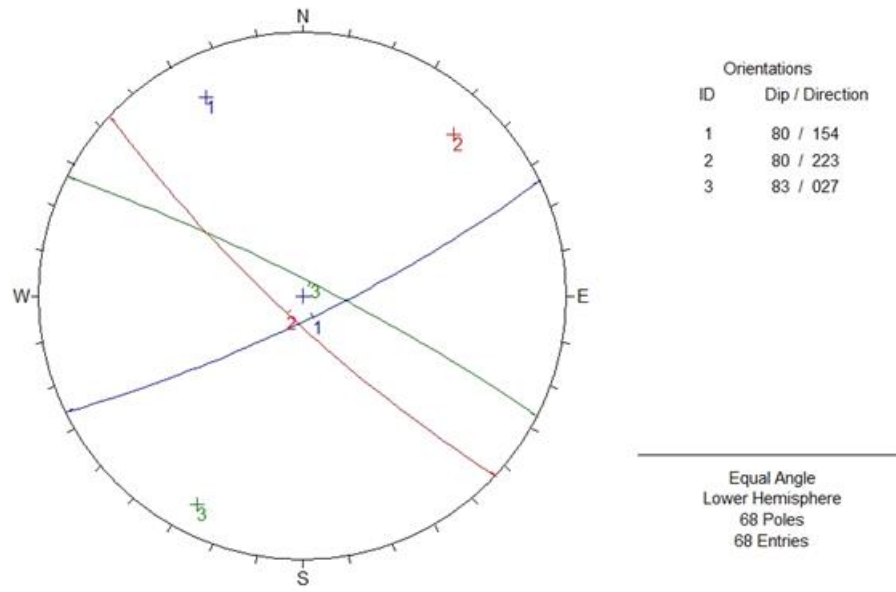
Por ser un yacimiento epitermal de alta sulfuración, las alteraciones en el Tajo Jessica, presenta discontinuidades en diferentes orientaciones, sin embargo, se han encontrado y clasificado tres sistemas de discontinuidades principales en los tipos de alteraciones:

- Sistema 1: Rumbo NE y buzamiento SE, conformado por diaclasas. Este es el sistema predominante de la zona de estudio.
- Sistema 2: Rumbo SE y buzamiento empinado al SW, conformado por diaclasas.
- Sistema 3: Rumbo E y buzamiento alto al N, conformado por diaclasas.

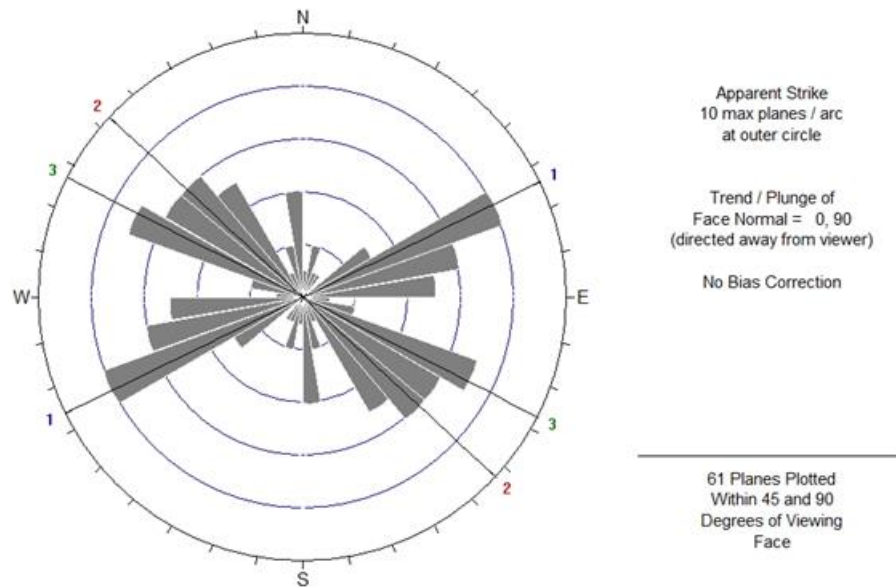
Los resultados de las características de distribución de los sistemas de discontinuidades estructurales se observan en las figuras 49,50 y 51.



**Figura 49:** Diagrama estereográfica de contornos del compósito general del Tajo Jessica.  
(Fuente: Elaboración propia, 2019)



**Figura 50:** Diagrama estereográfica de planos principales del Tajo Jessica. (Fuente: Elaboración propia)

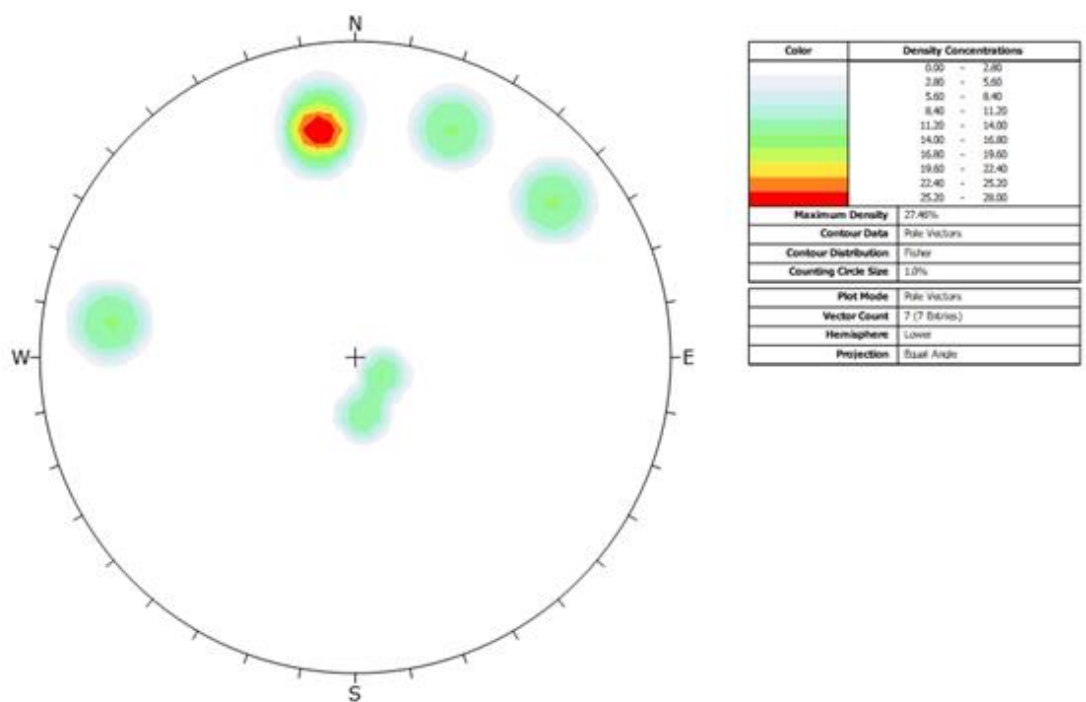


**Figura 51:** Roseta, del compósito de estructuras principales del Tajo Jessica. (Fuente: Elaboración propia)

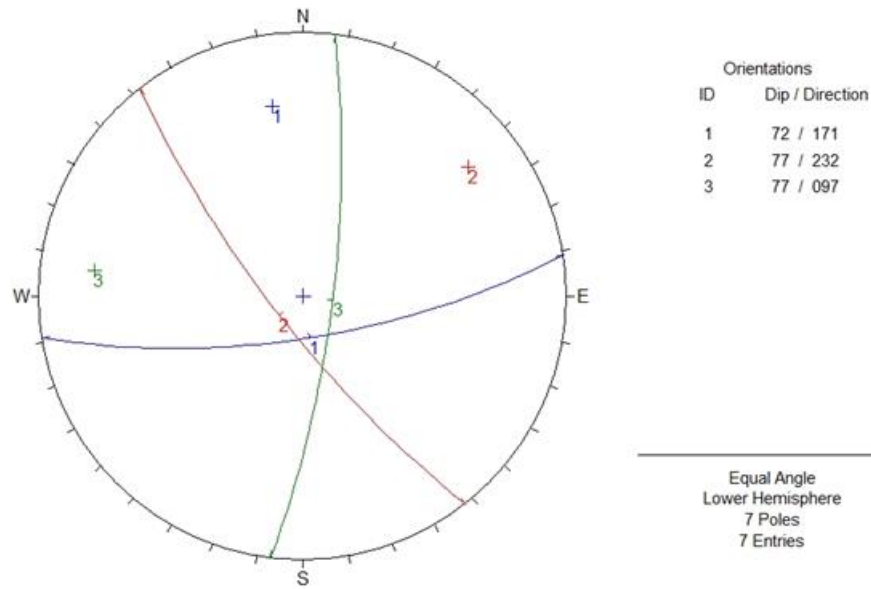
### 5.2.1.1. Distribución de discontinuidades sílice masiva

Los resultados de las características de distribución de los sistemas de discontinuidades de la alteración sílice masiva se observan en las figuras 52, 53 y 54, las cuales forman el resumen de las estaciones geotécnicas (ver anexos 4 hasta 48). Los sistemas principales en este tipo de alteración en el tajo son:

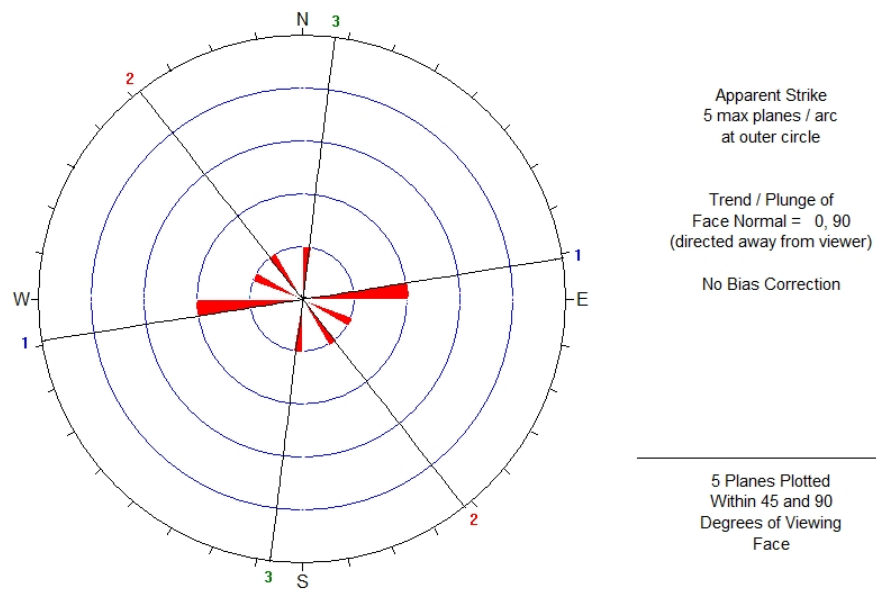
- Sistema 1: Rumbo E y buzamiento al empinado S, conformado por diaclasas. Este es el sistema predominante
- Sistema 2: Rumbo NW y buzamiento al SW, conformado por diaclasas.
- Sistema 3: Rumbo N y buzamiento empinado al E, conformado por diaclasas.



**Figura 52:** Diagrama estereográfico de contornos de la alteración sílice masiva. (Fuente: Elaboración propia)



**Figura 53:** Diagrama estereográfico de planos de la alteración sílice masiva. (Fuente: Elaboración propia)

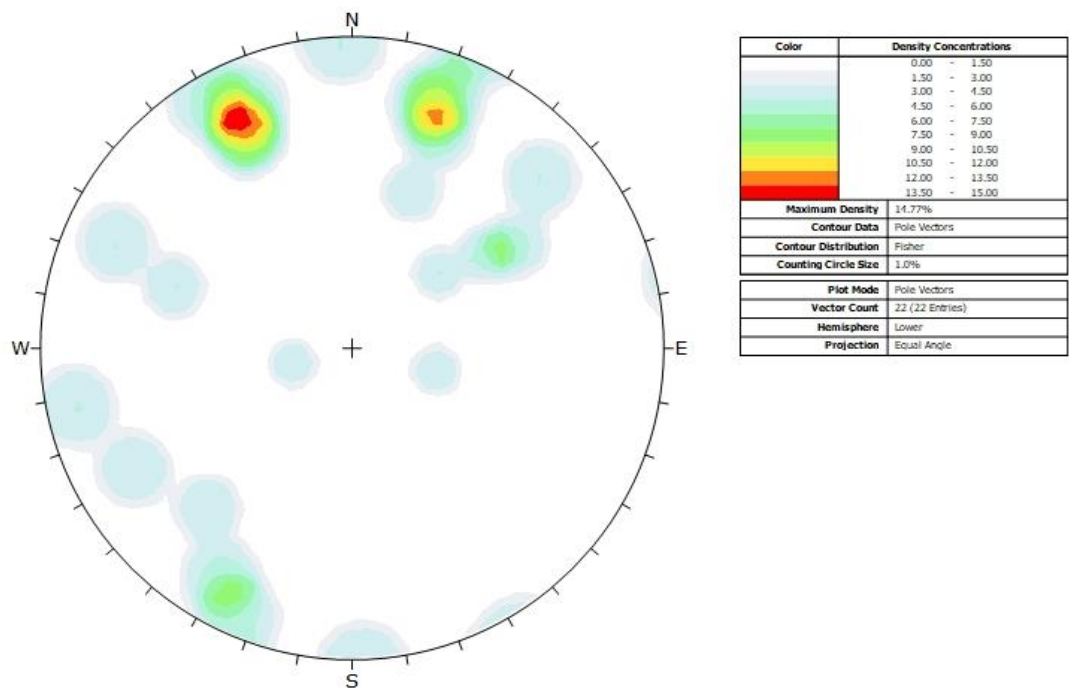


**Figura 54:** Diagrama de roseta de discontinuidades de la alteración sílice masiva. (Fuente: Elaboración propia)

### 5.2.1.2. Distribución de discontinuidades sílice granular

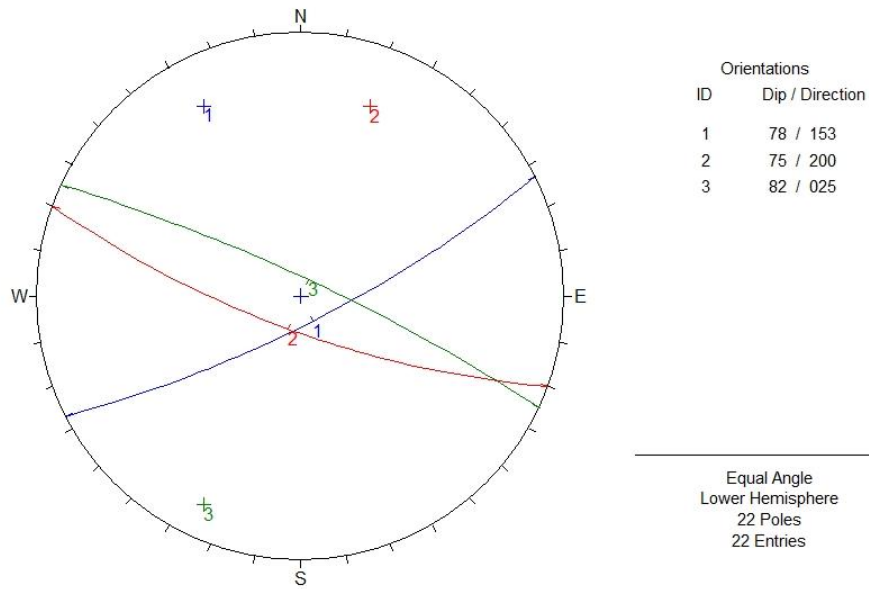
Los resultados de las estaciones geotécnicas se muestran en los anexos 4 hasta 48, y los gráficos de distribución de los principales sistemas de discontinuidades de la alteración sílice granular se muestra en las figuras 55, 56 y 57.

- Sistema 1: Rumbo NE y buzamiento al SE, conformado por diaclasas. Este es el sistema predominante
- Sistema 2: Rumbo E y buzamiento al SW, conformado por diaclasas.
- Sistema 3: Rumbo SE y buzamiento empinado al N, conformado por diaclasas.

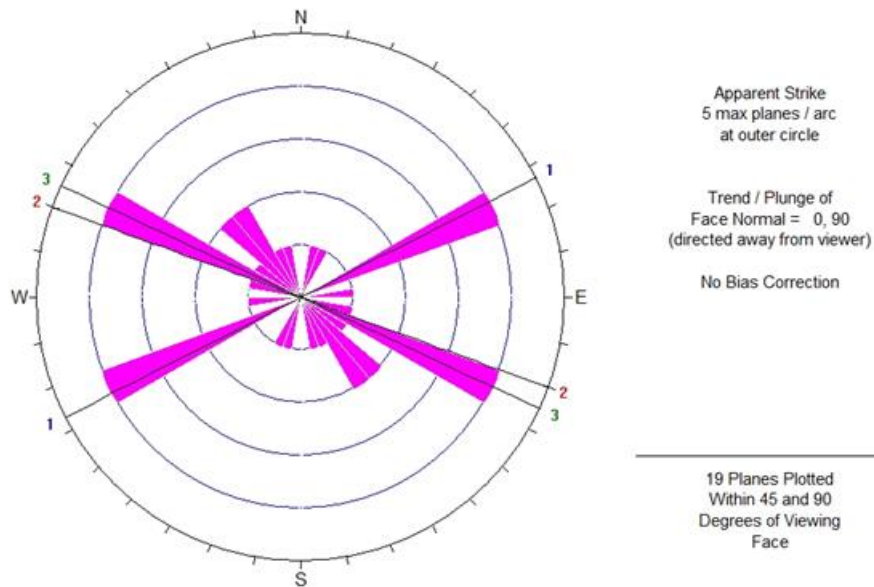


**Figura 55:** Diagrama estereográfico de contornos de la alteración sílice granular. (Fuente: Elaboración propia)





**Figura 56:** Diagrama estereográfico de planos de la alteración sílice granular. (Fuente: *Elaboración propia*)

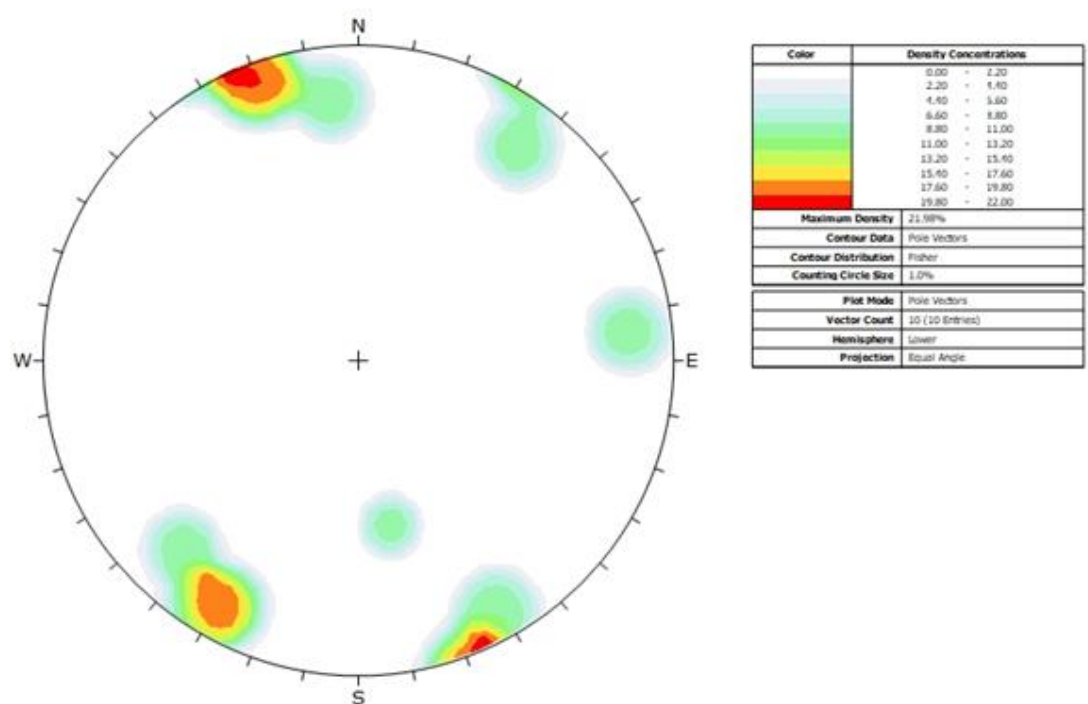


**Figura 57:** Diagrama de roseta de discontinuidades de la alteración sílice granular. (Fuente: *Elaboración propia*)

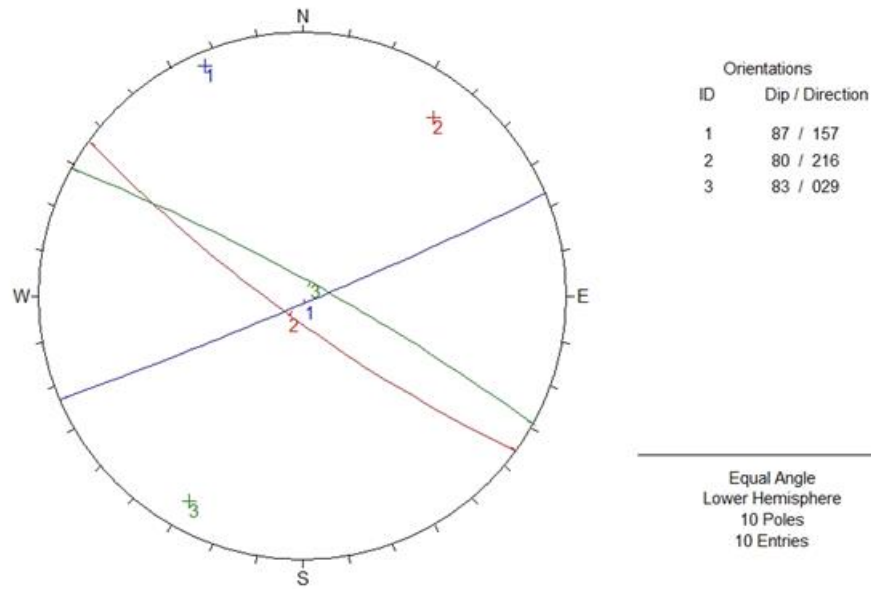
### 5.2.1.3. Distribución de discontinuidades sílice alunita

Los resultados de las estaciones geotécnicas se muestran en los anexos 4 hasta 48, y los gráficos de distribución de los principales sistemas de discontinuidades de la alteración sílice alunita se muestra en las figuras 58, 59 y 60.

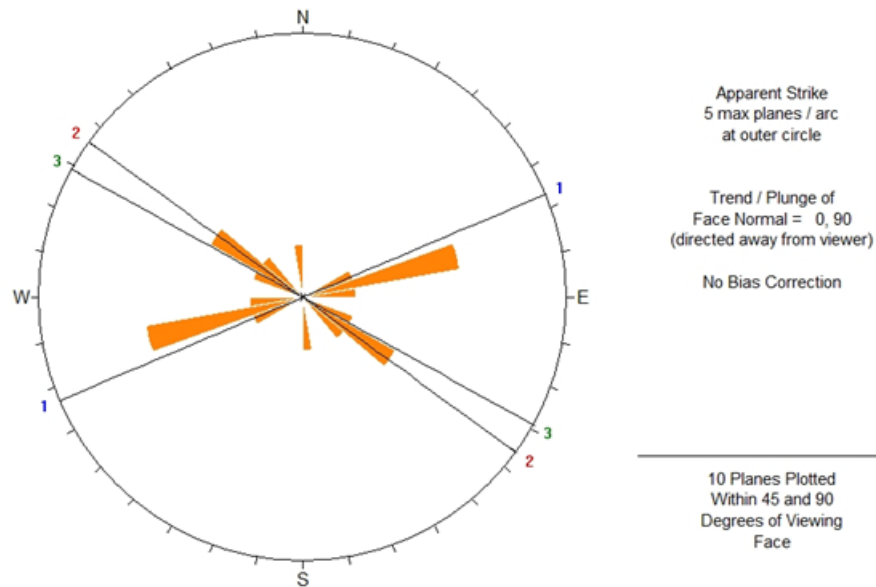
- Sistema 1: Rumbo NE y buzamiento al SE, conformado por diaclasas. Este es el sistema predominante
- Sistema 2: Rumbo SE y buzamiento al SW, conformado por diaclasas.
- Sistema 3: Rumbo SE y buzamiento empinado al N, conformado por diaclasas.



**Figura 58:** Diagrama estereográfico de contornos de la alteración sílice alunita. (Fuente: Elaboración propia)



**Figura 59:** Diagrama estereográfico de planos de la alteración sílice alunita. (Fuente: Elaboración propia)

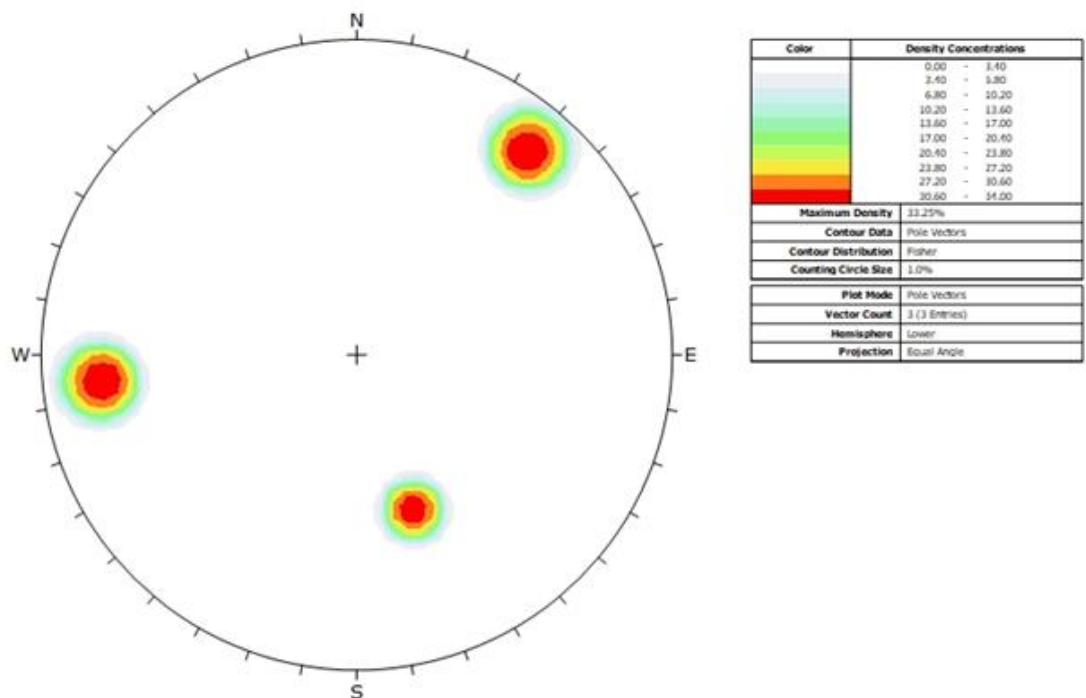


**Figura 60:** Diagrama de roseta de discontinuidades de la alteración sílice alunita. (Fuente: Elaboración propia)

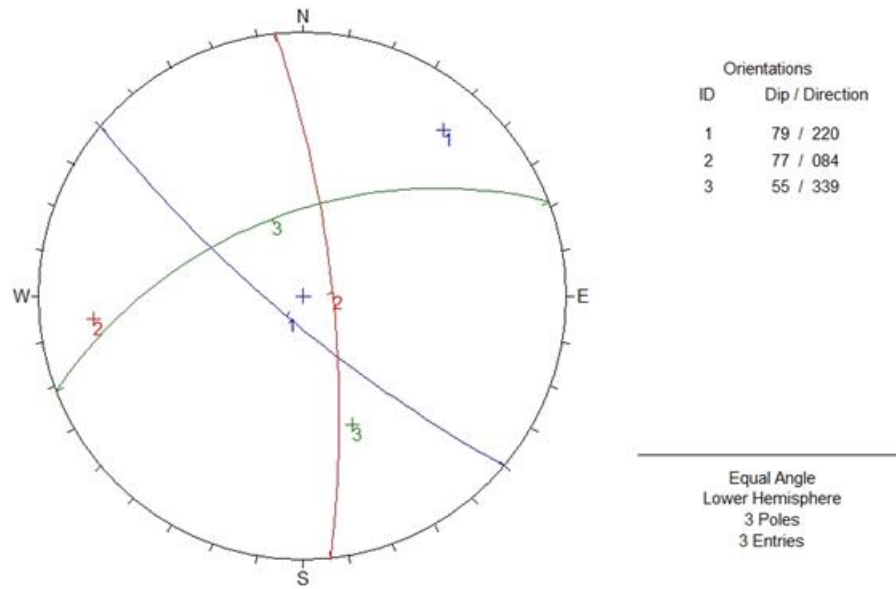
#### 5.2.1.4. Distribución de discontinuidades sílice clay

Los resultados de las estaciones geotécnicas se muestran en los anexos 4 hasta 48, y los gráficos de distribución de los principales sistemas de discontinuidades de la alteración sílice clay se muestra en las figuras 61, 62 y 63.

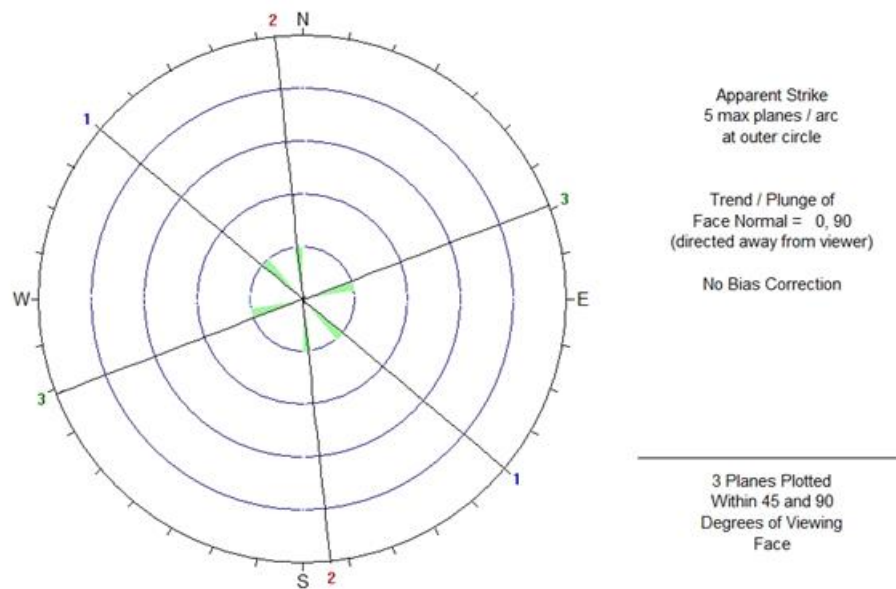
- Sistema 1: Rumbo NW y buzamiento alto al S, conformado por diaclasas. Este es el sistema predominante
- Sistema 2: Rumbo S y buzamiento empinado al E, conformado por diaclasas.
- Sistema 3: Rumbo NE y buzamiento al NW, conformado por diaclasas.



**Figura 61:** Diagrama estereográfico de contornos de la alteración sílice clay. (Fuente: Elaboración propia)



**Figura 62:** Diagrama estereográfico de planos de la alteración sílice clay. (Fuente: Elaboración propia)

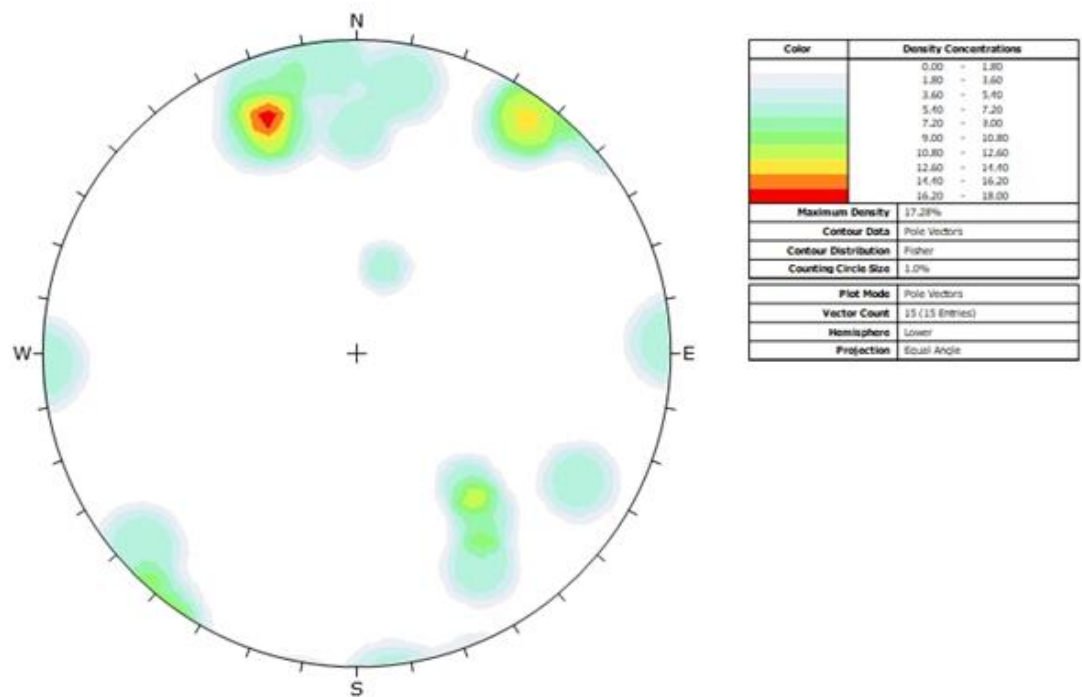


**Figura 63:** Diagrama de roseta de discontinuidades de la alteración sílice clay. (Fuente: Elaboración propia)

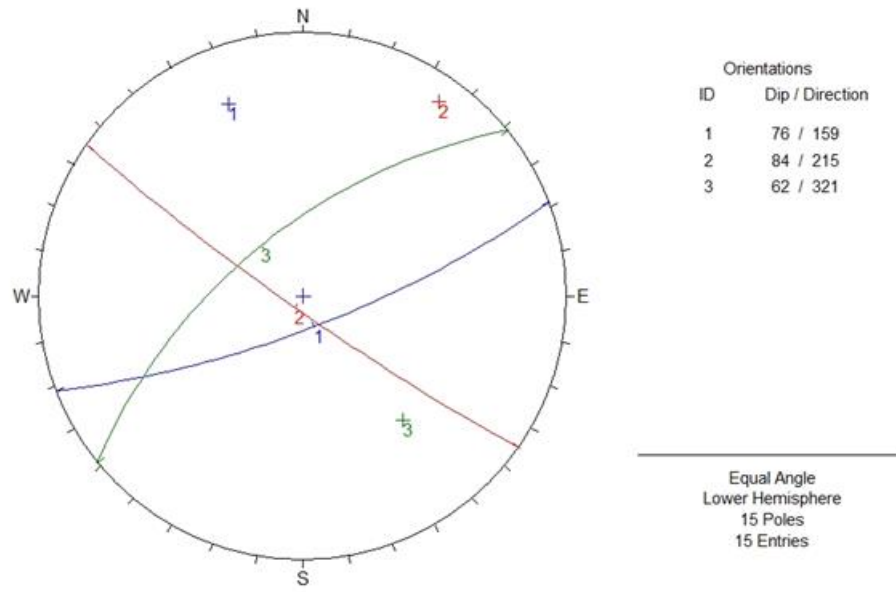
### 5.2.1.5. Distribución de discontinuidades sílice *clay* pirita

Los resultados de las estaciones geotécnicas se muestran en los anexos 4 hasta 48, y los gráficos de distribución de los principales sistemas de discontinuidades de la alteración sílice *clay* pirita se muestra en las figuras 64, 65 y 66.

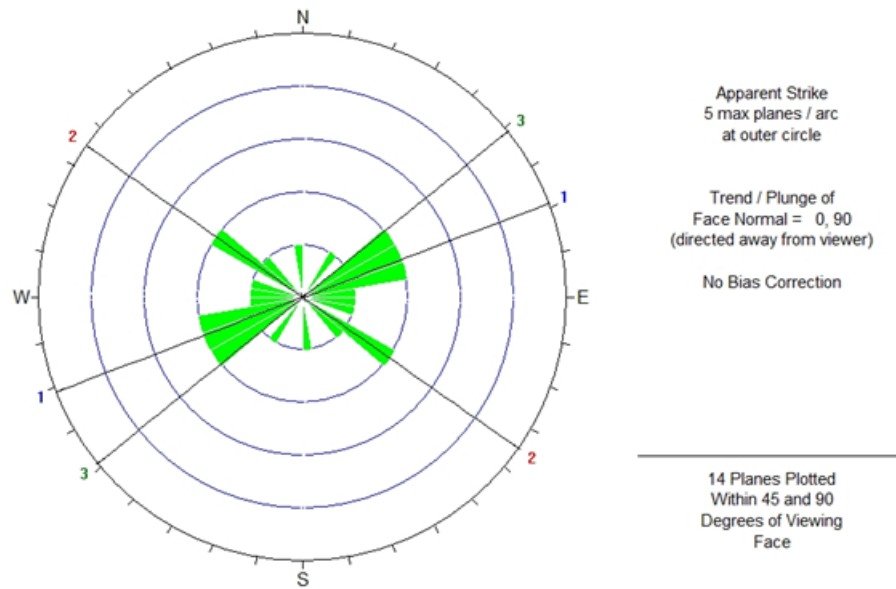
- Sistema 1: Rumbo NE y buzamiento al SE, conformado por diaclasas. Este es el sistema predominante
- Sistema 2: Rumbo SE y buzamiento al SW, conformado por diaclasas.
- Sistema 3: Rumbo SW y buzamiento al NW, conformado por diaclasas.



**Figura 64:** Diagrama estereográfico de contornos de la alteración sílice *clay* pirita.  
(Fuente: Elaboración propia)



**Figura 65:** Diagrama estereográfico de planos de la alteración sílice clay pirita. (Fuente: Elaboración propia)

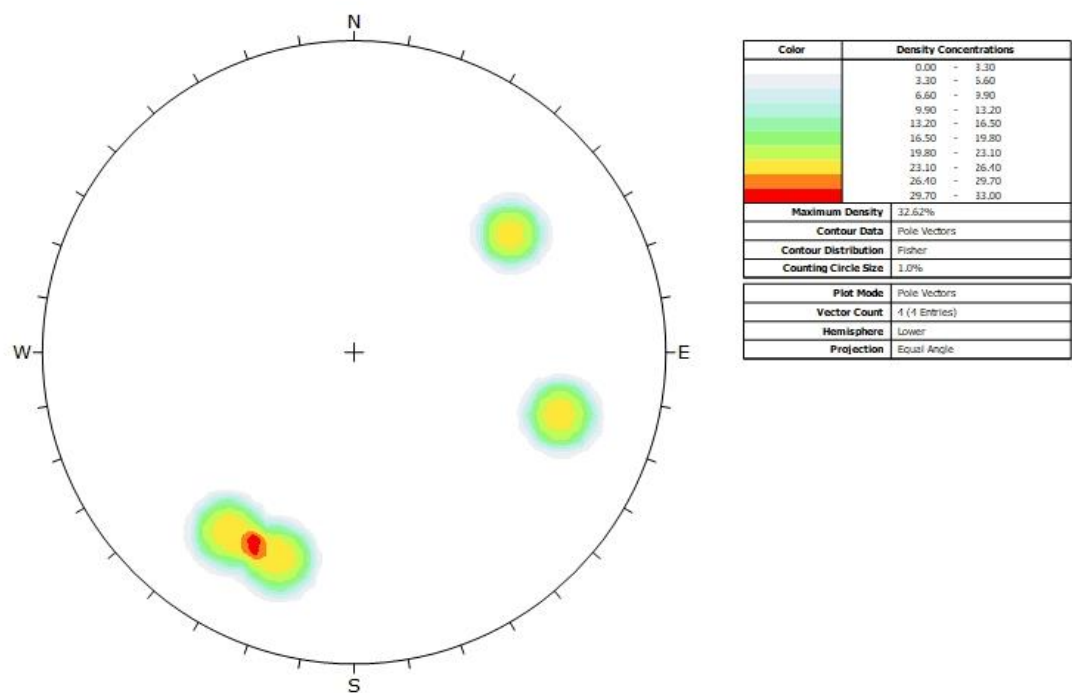


**Figura 66:** Diagrama de roseta de discontinuidades de la alteración sílice clay pirita. (Fuente: Elaboración propia)

### 5.2.1.6. Distribución de discontinuidades clay

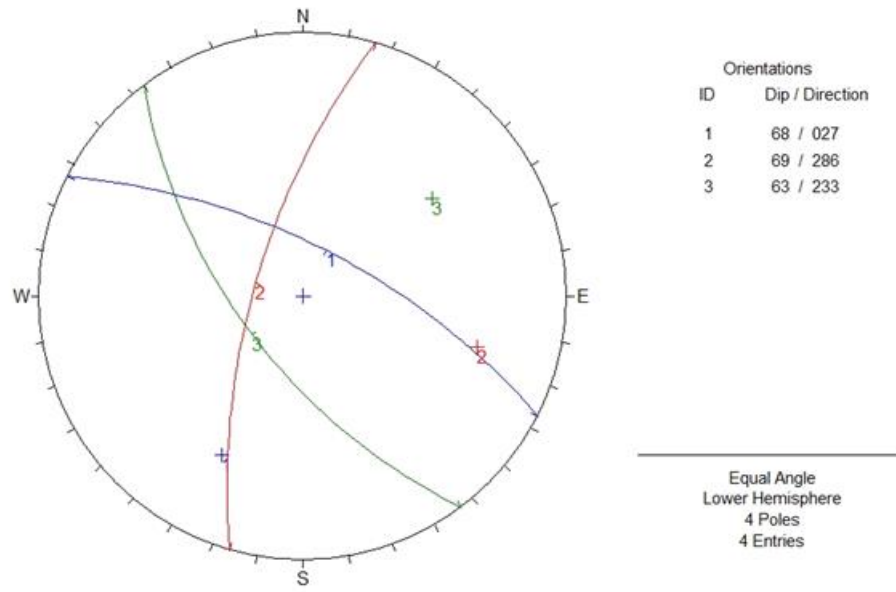
Los resultados de las estaciones geotécnicas se muestran en los anexos 4 hasta 48, y los gráficos de distribución de los principales sistemas de discontinuidades de la alteración clay se muestra en las figuras 67, 68 y 69.

- Sistema 1: Rumbo SE y buzamiento alto al N, conformado por diaclasas. Este es el sistema predominante
- Sistema 2: Rumbo S y buzamiento al NW, conformado por diaclasas.
- Sistema 3: Rumbo SE y buzamiento empinado al SW, conformado por diaclasas.

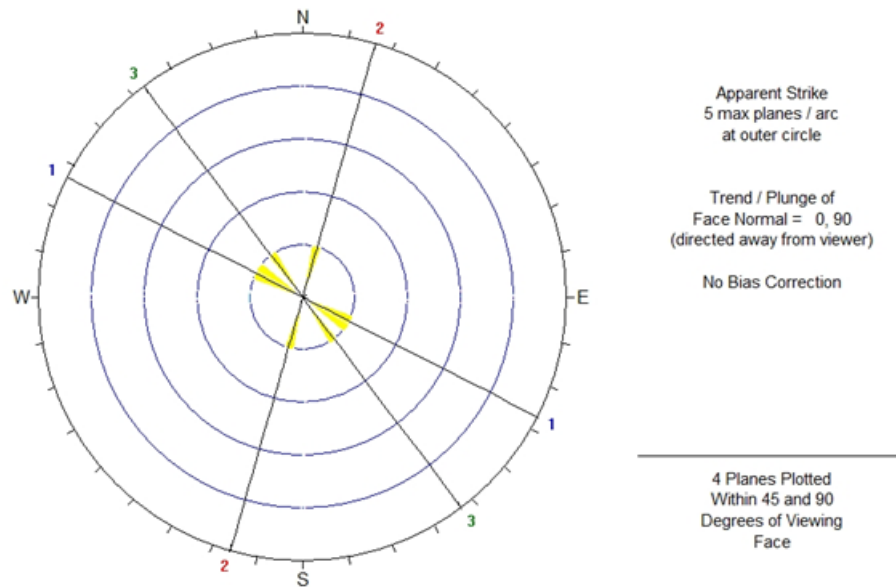


**Figura 67:** Diagrama estereográfico de contornos de la alteración clay. (Fuente: Elaboración propia)





**Figura 68:** Diagrama estereográfico de planos de la alteración clay. (Fuente: Elaboración propia)

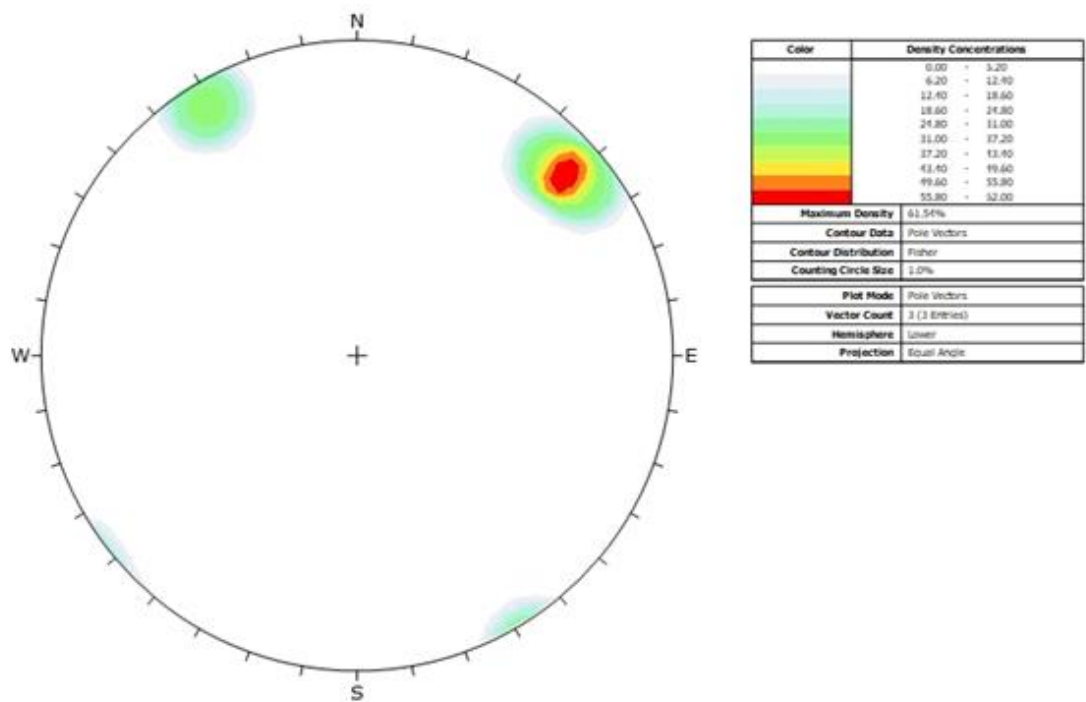


**Figura 69:** Diagrama de roseta de discontinuidades de la alteración clay. (Fuente: Elaboración propia)

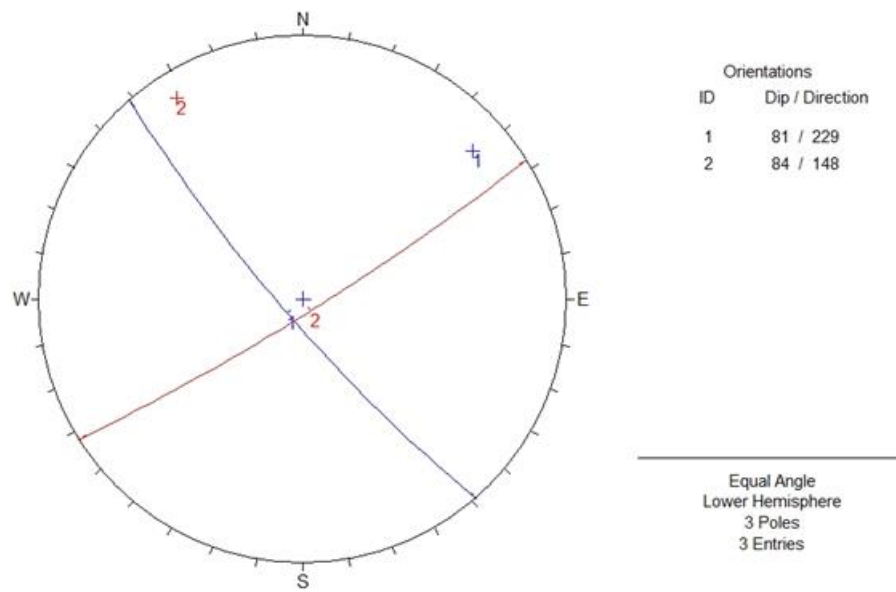
### 5.2.1.7. Distribución de discontinuidades roca fresca

Los resultados de las estaciones geotécnicas se muestran en los anexos 4 hasta 48, y los gráficos de distribución de los principales sistemas de discontinuidades de la roca fresca se muestra en las figuras 70, 71 y 72.

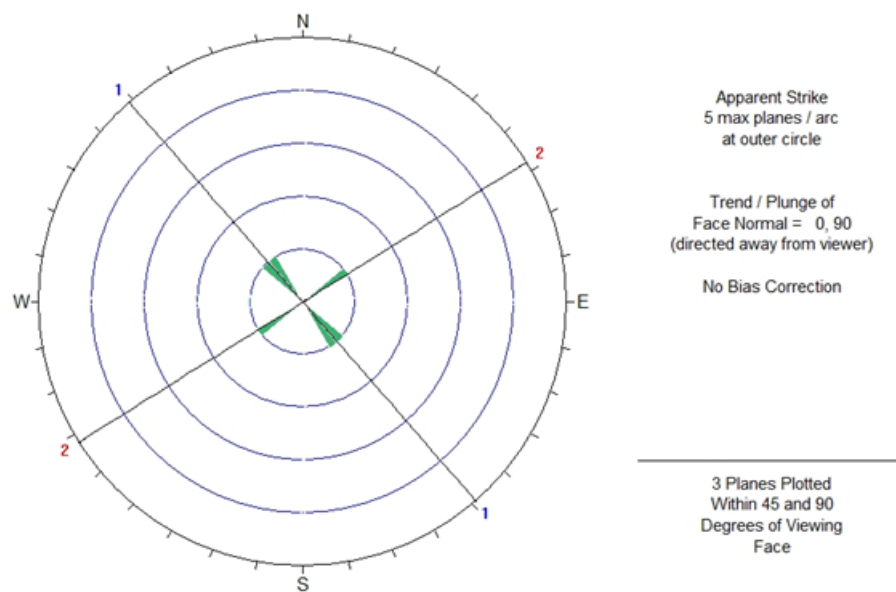
- Sistema 1: Rumbo NW y buzamiento al SW, conformado por diaclasas. Este es el sistema predominante
- Sistema 2: Rumbo NE y buzamiento al SE, conformado por diaclasas.



**Figura 70:** Diagrama estereográfico de contornos de la roca fresca. (Fuente: Elaboración propia)



**Figura 71:** Diagrama estereográfico de planos de la roca fresca. (Fuente: Elaboración propia)



**Figura 72:** Diagrama de roseta de discontinuidades de la roca fresca. (Fuente: Elaboración propia)

### 5.2.2. Resistencia a la compresión uniaxial

Este parámetro se obtuvo utilizando el Martillo de Geólogo y también a partir de resultados de rebote del Martillo Schmidt, según normas ISRM. En los taludes el ángulo de prueba fue de  $0^\circ$  y en los bloques de rocas caídas fue de  $-45^\circ$ . Las densidades por tipo de alteración fueron brindadas por geología mina; las cuales son detalladas en la tabla 17. La dureza al rebote se calcula multiplicando medida por el factor de corrección que se muestra en la tabla 13.

**Tabla 17:** Densidades de las alteraciones.

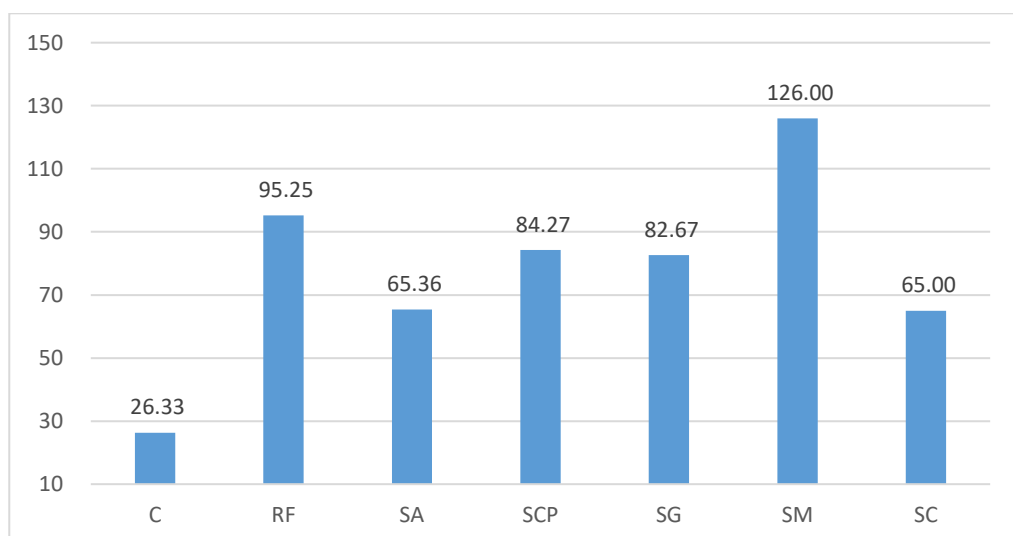
	Alteraciones Jessica	Densidad tn/m <sup>3</sup>
SM	Silice Masiva	2.41
SG	Silice Granular	2.29
SA	Silice Alunita	2.39
SC	Silice Clay	2.39
SCP	Silice Clay Pirita	2.41
C	Clay	2.39
RF	Roca Fresca	2.71

*(Fuente: Elaboración del área de geología mina Arasi. 2011)*

Las características mecánicas según la compresión uniaxial de la litología alterada tienen un promedio que variaría desde el más alta que es 126 Mpa a 26.33 Mpa como se puede en la figura 73.

- La sílice masiva cuenta con mayor promedio de resistencia a la compresión uniaxial, esto por su contenido de microcristales de cuarzo obtenido en el estudio petrográfico y también en la muestra de mano, además es muy compacta.
- Sílice granular, tiene un promedio de resistencia a la compresión uniaxial de 82.6 Mpa, por su composición mineralógica heterogénea de: cuarzo, arcillas y óxidos de hierro, además por la presencia de microporos.

- Sílice alunita, tiene un promedio de resistencia a la compresión uniaxial 65.35 Mpa, esto por la presencia de minerales como: alunita, arcillas y cuarzo microcristalino.
- Sílice *clay*, tiene un promedio de resistencia a la compresión uniaxial 65 Mpa, por su composición mineralógica mayoría de arcillas (esencialmente caolinita) y cuarzo secundario.
- Sílice *clay pirita*, tiene un promedio de resistencia a la compresión uniaxial 84.27 Mpa, por su composición mineralógica de cuarzo secundario (microcristalino), arcillas y pirita en forma diseminada. La arcilla en el tajo no tiene presencia de agua, por lo que su resistencia buena.
- Clay, es la alteración con más bajo promedio de resistencia a la compresión uniaxial, en la cual se obtuvo 26.33 Mpa por su composición mineralógica. En algunos casos la presencia de agua en este tipo de alteración baja mucho más la resistencia a la compresión, lo cual genera inestabilidad en los bancos del tajo.
- Roca fresca, tiene un promedio de resistencia a la compresión uniaxial de 95.25 Mpa es la roca andesita.







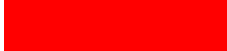


**Figura 73:** Se observa los valores de resistencia a la compresión uniaxial diferenciado por las alteraciones y la roca fresca. (Fuente: Elaboración propia)

### 5.2.3. Sistema RMR valoración del macizo rocoso

El espaciamiento de las discontinuidades, condición de juntas y condición de agua subterránea fue clasificado según la valoración establecida por Bieniawski (1989). En la tabla 19 se muestra el resumen de las estaciones geotécnicas ver anexo 5 hasta 49 clasificación de macizo rocoso obtenido para el Tajo Jessica. Según la tabla de resumen y en base a la experiencia en este tipo de yacimiento, la calidad de la roca está directamente asociada a la litología alterada (tipos de alteraciones) presentes en el tajo.

**Tabla 18:** Criterio para la clasificación de la masa rocosa.

Calidad	RMR	Tipo de Roca	
Muy buena	100 - 81	I	
Buena	80 - 61	II	
Regular A	60 - 51	III	
Regular B	50 - 41	III	
Pobre A	40 - 31	IV	
Pobre B	30-21	IV	
Muy Pobre	20 - 0	V	

Fuente: Bieniawski, 1989.

La mayor parte del Tajo Jessica, en la zona de operación, está conformada por rocas Tipo II y III, que corresponde a rocas con alteración Sílice Masiva y Sílice Granular moderadamente fracturas.

- TIPO II (80 – 61): Sílice masiva (SM) y sílice granular (SG).
- TIPO III (60 – 41): Sílice alunita (SA), sílice *clay* pirita (SCP), sílice *clay* (SC) y la sílice granular fracturada y sílice masiva muy fracturada.
- TIPO IV (40 – 21): Formado por con la alteración *clay*.

**Tabla 19:** Resumen de clasificación de la masa rocosa en el Tajo Jessica.

Estación	Alteración	Densidad (gr/cm <sup>3</sup> )	Resistencia a la Compresión Uniaxial	Resistencia a la Tracción	Cohesión (kpa)	Fricción (°)	RMR	Tipo de Roca	Calidad
EG-01	SG	2.29	95	9.5	355	40.5	71	II	Buena
EG-02	SA	2.39	65	6.5	300	35	60	III	Regular
EG-03	SG	2.29	165	16.5	325	37.5	65	II	Buena
EG-04	SG	2.29	95	9.5	290	34	58	III	Regular
EG-05	SA-SG	2.41	65	6.5	265	31.5	53	III	Regular
EG-06	SM	2.41	80	8	295	34.5	59	III	Regular
EG-07	SCP	2.41	112	11.2	300	35	60	III	Regular
EG-08	CP	2.39	80	8	235	28.5	47	III	Regular
EG-09	SG	2.29	86	8.6	305	35.5	61	II	Buena
EG-10	SM	2.41	175	17.5	330	38	66	II	Buena
EG-11	SM	2.41	150	15	315	36.5	63	II	Buena
EG-12	SM	2.41	99	9.9	355	40.5	71	II	Buena
EG-13	C	2.39	27	2.7	200	25	40	IV	Pobre
EG-14	SA	2.39	65	6.5	290	34	58	III	Regular
EG-15	C	2.39	27	2.7	250	30	50	III	Regular
EG-16	C	2.39	27	2.7	235	28.5	47	III	Regular
EG-17	SCP	2.41	112	11.2	335	38.5	67	II	Buena
EG-18	SG	2.29	95	9.5	350	40	70	II	Buena
EG-19	C	2.39	27	2.7	200	25	40	IV	Pobre
EG-20	SCP	2.41	112	11.2	345	39.5	69	II	Buena
EG-21	SCP	2.41	92	9.2	300	35	60	III	Regular
EG-22	SC	2.39	65	6.5	335	38.5	67	II	Buena
EG-23	C	2.39	27	2.7	180	23	36	IV	Pobre
EG-24	SCP	2.41	64	6.4	320	37	64	II	Buena
EG-25	SCP	2.41	64	6.4	360	41	72	II	Buena
EG-26	SA	2.39	90	9	355	40.5	71	II	Buena
EG-27	RF	2.71	88	8.8	320	37	64	II	Buena
EG-28	RF	2.71	88	8.8	350	40	70	II	Buena
EG-29	RF	2.71	158	15.8	315	36.5	63	II	Buena
EG-30	SA	2.39	65	6.5	315	36.5	63	II	Buena
EG-31	CP	2.39	65	6.5	265	31.5	53	III	Regular
EG-32	SA	2.39	54	5.4	335	38.5	67	II	Buena
EG-33	SA	2.39	72	7.2	370	42	74	II	Buena
EG-34	SCP	2.41	63	6.3	340	39	68	II	Buena
EG-35	SCP	2.41	63	6.3	290	34	58	III	Regular
EG-36	SA	2.39	63	6.3	345	39.5	69	II	Buena
EG-37	SCP	2.41	100	10	345	39.5	69	II	Buena
EG-38	RF	2.71	47	4.7	285	33.5	57	III	Regular
EG-39	SG	2.29	64	6.4	330	38	66	II	Buena
EG-40	SG	2.29	36	3.6	270	32	54	III	Regular
EG-41	C	2.39	23	2.3	255	30.5	51	III	Regular
EG-42	SA	2.39	49	4.9	345	39.5	69	II	Buena
EG-43	SCP	2.41	65	6.5	330	38	66	II	Buena
EG-44	SG	2.29	33	3.3	335	38.5	67	II	Buena
EG-45	SG	2.29	75	7.5	325	37.5	65	II	Buena

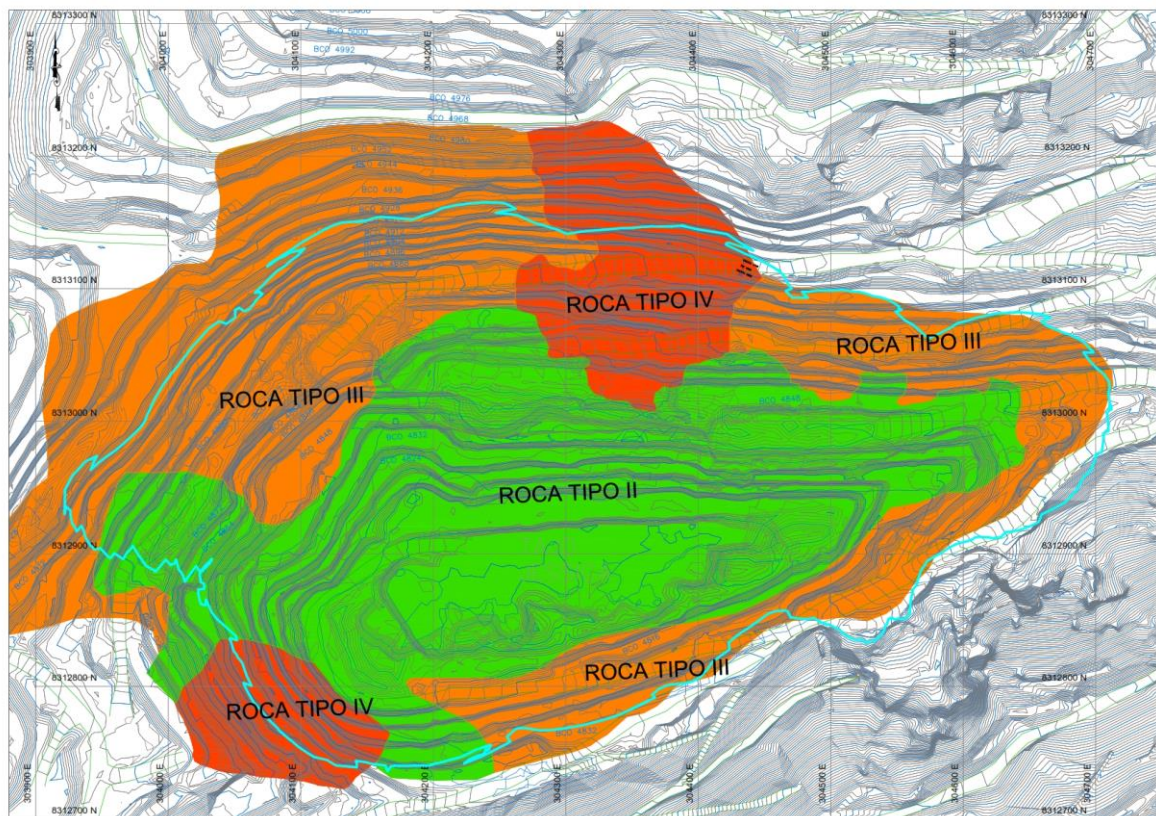
(Fuente: Elaboración del área de geotecnia Arasi.2015)

De la información (Plano de alteraciones y secciones por tipo de alteración) proporcionada por Geología Mina, se identifica que la mayor parte de lo que queda por minar es alteración SG y SM (70% aproximadamente). Ver plano de alteraciones. En el sector Oeste sobre la cota 4864 m.s.n.m, se encontrará la alteración C. En el sector centro,

sobre la cota 4864 m.s.n.m se encontrará la alteración SC. En el sector Oeste, las paredes finales del tajo estarán dominadas por las alteraciones SC y SA.

#### 5.2.4. Zonificación geomecánica de la masa rocosa

Considerando el mapeo de alteraciones ver anexo 1 y la calidad del macizo rocoso. La mayor parte del tajo Jessica, está conformada por rocas Tipo II y III, que corresponde a rocas con alteración sílice masiva, sílice granular, sílice *clay*, sílice alunita y la sílice *clay* piritita. moderadamente fracturada. En zonas puntuales del tajo se encuentra con alteración *Clay*, la cual corresponde a una roca tipo IV. Como se observa en la figura 74.



**Figura 74:** Zonificación geomecánica de la masa rocosa del tajo Jessica (*Fuente: Elaboración propia*)

De lo anterior, se concluye que se tendrá rocas de Tipo III y II, esta condición es favorable para la estabilidad del talud durante las operaciones del tajo Jessica, sin embargo, la estabilidad de talud de banco se puede ver afectada por la voladura, por lo que es necesario utilizar parámetros adecuados de perforación y voladura. Los taludes



finales se encuentran en la zona de argílica avanzada (SA, SC y la *Clay*) estas alteraciones presentan mayormente minerales de arcillas y esto hace que baje la calidad del macizo rocoso que es importante para la estabilidad de taludes en el post minado.

### 5.2.5. Sistema de clasificación GSI

En el tajo se observa tres tipos de macizos rocosos en la etapa de minado, según clasificación GSI. en presente estudio de realizo la siguiente correlación  $GSI = RMR - 5$ .

- Fracturadas que están presentes en las siguientes alteraciones: sílice alunita (SA) y sílice *clay* pirita (SCP), con superficies de rugosas a lisas.
- Muy fracturadas que están en las siguientes alteraciones: sílice granular (SG), sílice masiva (SM), sílice *clay* (SC) y roca fresca (RF) que se presenta de forma muy puntal en el tajo.
- Fracturada/perturbada que es la alteración *clay* (C).

### 5.2.6. Índice volabilidad BI por tipo de alteración

Para obtener el Índice de Volabilidad, se utilizó el criterio de Lilly (1986,1982), donde ha definido que el Índice Volabilidad “BI” (*Blastability Index*) se obtiene de la suma de cinco parámetros fácilmente medibles en campo. Estos son Descripción del macizo rocoso (RDM), Espaciamiento entres los planos de junta (JPS), Orientación de los planos de junta (JPO), Influencia del peso específico (SGI) y el Radio de influencia de la resistencia (RSI), como se observa en la tabla 20. (Fuente: Osinergmin, 2020).

$$BI= 0.05(RMD+JPS+JPO+SGI+RSI)$$

**Tabla 20:** índice de volabilidad de Lilly (1992).

PARAMETROS GEOMECANICOS	CALIFICACIÓN
1.- Descripción del macizo rocoso (RMD)	
* Friable / poco consolidado.	10
* Diaclasado en bloques.	20
* Poco masivo.	50
2.- Espaciamiento entre planos de juntas (JPS)	
* Pequeño (< 0,1 m)	10
* Medio (0,1 a 1 m)	20
* Grande (> 0,1 m)	50
3.- Orientación de los planos de juntas (JPO)	
* Horizontal.	10
* Buzamiento normal al frente.	20
* Dirección normal al frente.	30
* Buzamiento coincidente con el frente.	40
4.- Influencia del peso específico (SGI)	
(SG es el específico en t/m <sup>3</sup> )	$SGI = 25 * SG - 50$
5.-Radio de influencia de la resistencia (RSI)	$RSI = 0.05 * RC$

(Fuente: Osinergmin, 2020)

Las rocas extremadamente blandas pueden tener un IB=20, mientras que las rocas masivas resistentes tienen un BI=100, estas pueden tener una densidad de 4ton/m<sup>3</sup>.

SG = Es el peso específico (densidad) Tn/m<sup>3</sup>

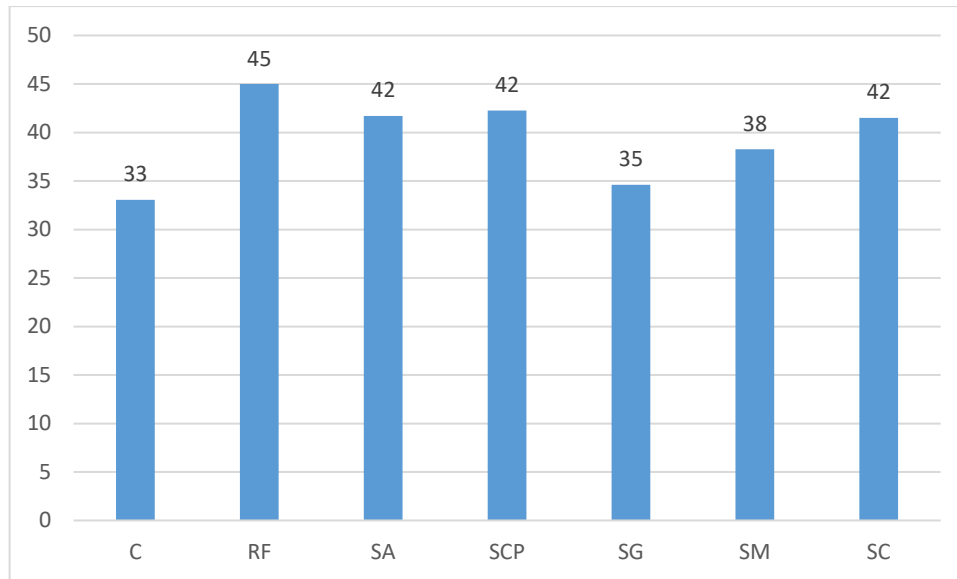
RC = Resistencia a la compresión simple Mpa



**Tabla 21:** Índice de volabilidad por estación geotécnicas de mapeo.

Alteración	RMD	JPS	JPO	SGI	RSI	BI
SG	20	13	13	7.25	4.75	29
SG	20	15	28	7.25	8.25	39.3
SG	15	12	12	7.25	4.75	25.5
SA-SG	20	12	18	10.25	3.25	31.8
SM	20	13	22	10.25	4	34.6
SCP	20	15	15	10.25	5.6	32.9
CP	15	10	22	9.75	4	30.4
SG	20	20	25	7.25	4.3	38.3
SM	20	13	22	10.25	8.75	37.0
SM	20	18	22	10.25	7.5	38.9
SM	30	18	22	10.25	4.95	42.6
C	15	13	32	9.75	1.35	35.6
SA	40	20	20	9.75	3.25	46.5
C	20	20	20	9.75	1.35	35.6
SCP	20	20	30	10.25	5.6	42.9
SG	20	20	30	7.25	4.75	41.0
C	10	10	30	9.75	1.35	30.6
SCP	20	20	30	10.25	5.6	42.9
SCP	10	20	30	10.25	4.6	37.4
SA	20	20	30	9.75	3.25	41.5
C	10	10	30	9.75	1.35	30.6
SCP	20	20	40	10.25	3.2	46.7
SCP	20	20	40	10.25	3.2	46.7
SA	20	20	40	9.75	4.5	47.1
RF	20	20	30	17.75	4.4	46.1
RF	20	20	30	17.75	4.4	46.1
RF	20	10	30	17.75	7.9	42.8
SA	20	20	20	9.75	3.25	36.5
CP	10	20	30	9.75	3.25	36.5
SA	20	20	20	9.75	3.6	36.7
SCP	20	20	30	10.25	3.15	41.7
SCP	20	20	40	10.25	3.15	46.7

(Fuente: Elaboración propia, 2019)



**Figura 75:** Grafico de promedio de indice de volatilidad con las alteraciones. (Fuente: Elaboración propia, 2019)

De la figura 75 se distingue que la roca fresca (RF) es el que tiene el más alto índice volatilidad, seguido de las alteraciones y la más bajo es la alteración *clay* (C).



## VI. CONCLUSIONES

En el tajo se presentan las alteraciones, sílice masiva, sílice granular, sílice vuggy, sílice alunita, sílice clay, sílice *clay* pirita, *clay* y roca fresca; en todas las rocas alteradas se observa reemplazamiento de minerales por fenómenos hidrotermales; en donde se puede observar cuarzo hidrotermal, alunita, caolinita, minerales opacos, microvenilleo, microfracturas y microporosidad, que tienen influencia en el proceso de explotación mineral.

Las características de las propiedades físico mecánicas tienen relación directa con la litología alterada, las cuales indican que la mayor parte del tajo Jessica, está conformada por rocas Tipo II (80-61) y III (60-41), que corresponde a las alteraciones Sílice *Clay*, Sílice Alunita, Sílice *Clay* pirita, Sílice Masiva y Sílice Granular; en cambio la alteración *Clay*, corresponde a una roca tipo IV (40-21).



## VII. RECOMENDACIONES

Continuar con el mapeo de las alteraciones de los taludes, y tener en cuenta los datos obtenidos en este trabajo para mineralizaciones similares. A su vez se debe poner énfasis en la alteración *clay*, porque el comportamiento estable puede variar con la presencia de agua.

Si bien es cierto que la presencia del agua subterránea no será mayor problema para la operación minera, así como para la estabilidad de los taludes, sin embargo, es necesario que se realicen algunos trabajos futuros para conocer en mayor detalle las características de presencia del agua, de tal manera que puedan adoptarse medidas de drenaje, de ser estas necesarias.



## VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Berger, Eimon. (1983). Conceptual models of epithermal precious metal. *Society of Mining Engineers of the American*, 191 - 205.
- Arribas. (1995). Characteristics of high-Sulfidation Epithermal Deposits, and their relation to magmatic fluid.
- Aydin. (2009). *ISRM suggested method for determination of the Schmidt hammer rebound hardness*.
- Bieniawski, Z. (1979). The geomechanics classification in rock engineering applications. *Conference on Rock Mechanics*.
- Buchanan. (1911). Precious Metals Deposits Associated with Volcanic. *Arizona Geological Society Digest*.
- Civiles, D. I. (2008). *Estudio de estabilidad de taludes del tajo Jessica*. Lima.
- Criollo, N. L. (2012). *ANÁLISIS DE LAS INVESTIGACIONES EN EL POSGRADO DE GEOTECNIA EN LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA SEDE BOGOTÁ*. Bogotá.
- Cutipa, F. C. (2018). EL MAPIC en la investigación científica. En F. C. Cutipa, *EL MAPIC en la investigación científica* (págs. 83-84). Puno: Corporación SIRIO EIRL.
- Cutipa, F. C. (2018). EL MAPIC en la Investigación Científica. En F. C. Cutipa, *EL MAPIC en la Investigación Científica* (pág. 37). Puno: Corporación SIRIO EIRL.
- Einaudi, M. H. (2003). Sulfidation State of Fluids in Active and Extinct Hydrothermal Systems: Transitions from Porphyry to Epithermal Environments, Chapter 15. *Society of Economic Geologists*. special publication 10.
- Franco, R. (1995). Metodología de la investigación. En R. Franco, *Metodología de la investigación*. Buenos Aires: Nuevo Mundo.
- Henley, R.W., K.L. (1985). A practical guide to the thermodynamics of geothermal fluids and hydrothermal ore deposits. *Reviews in Economic Geology*, 25-44.
- Hoek, E. a. (1980). Underground excavation in rock. *The Institution of Mining and Metallurgy*. London.
- Hudson. (1989). *Rock mechanics principles in engineering practice*. Butterworths, Ciria, London.
- ISEM. (2020). Efectos de la voladura en el macizo rocoso. *Revista seguridad minera*.
- ISRM. (1981). Suggested methods for rock characterization, testing and monitoring. *ISRM Suggested methods*. Ed E.T. Brown. Pergamon Press.

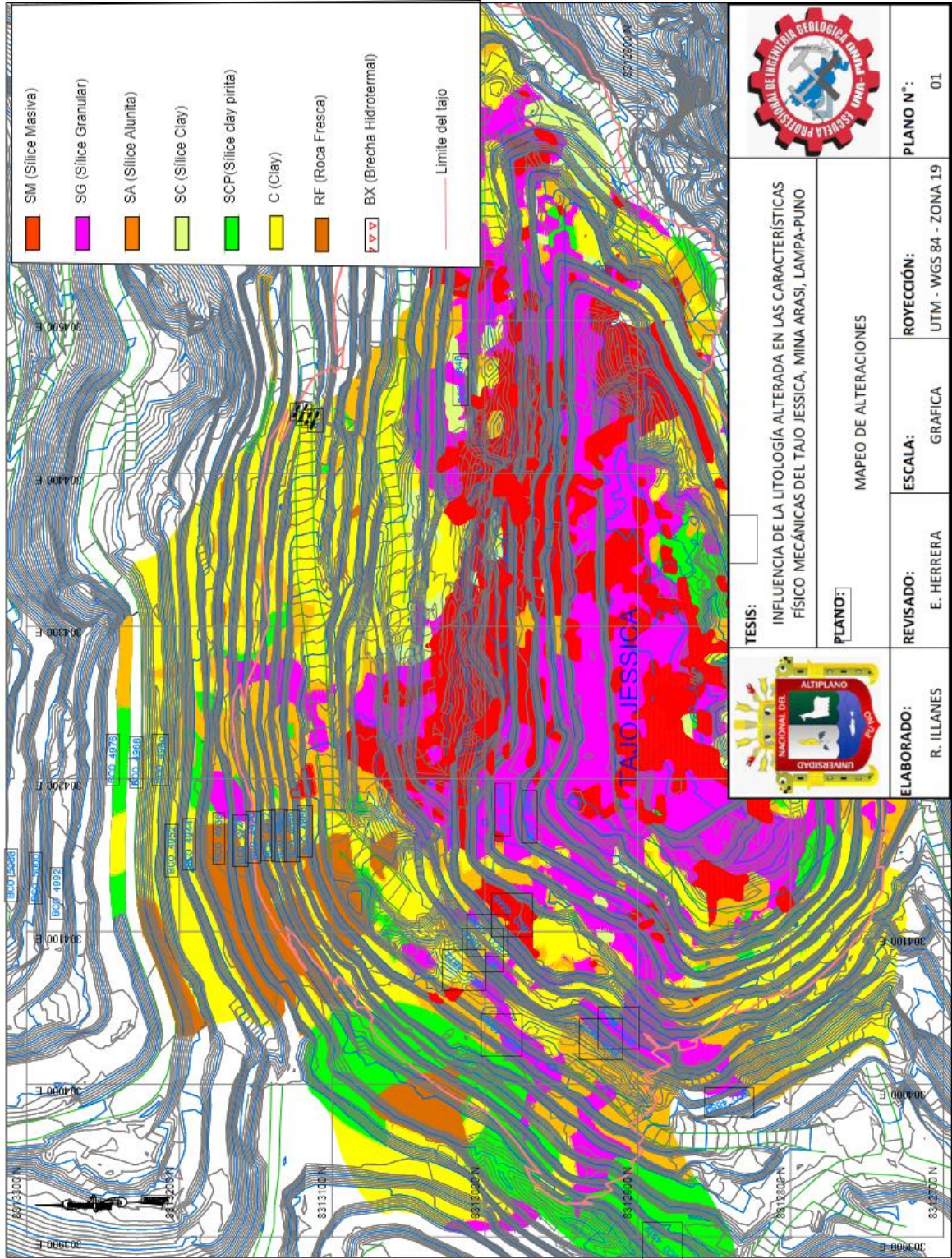


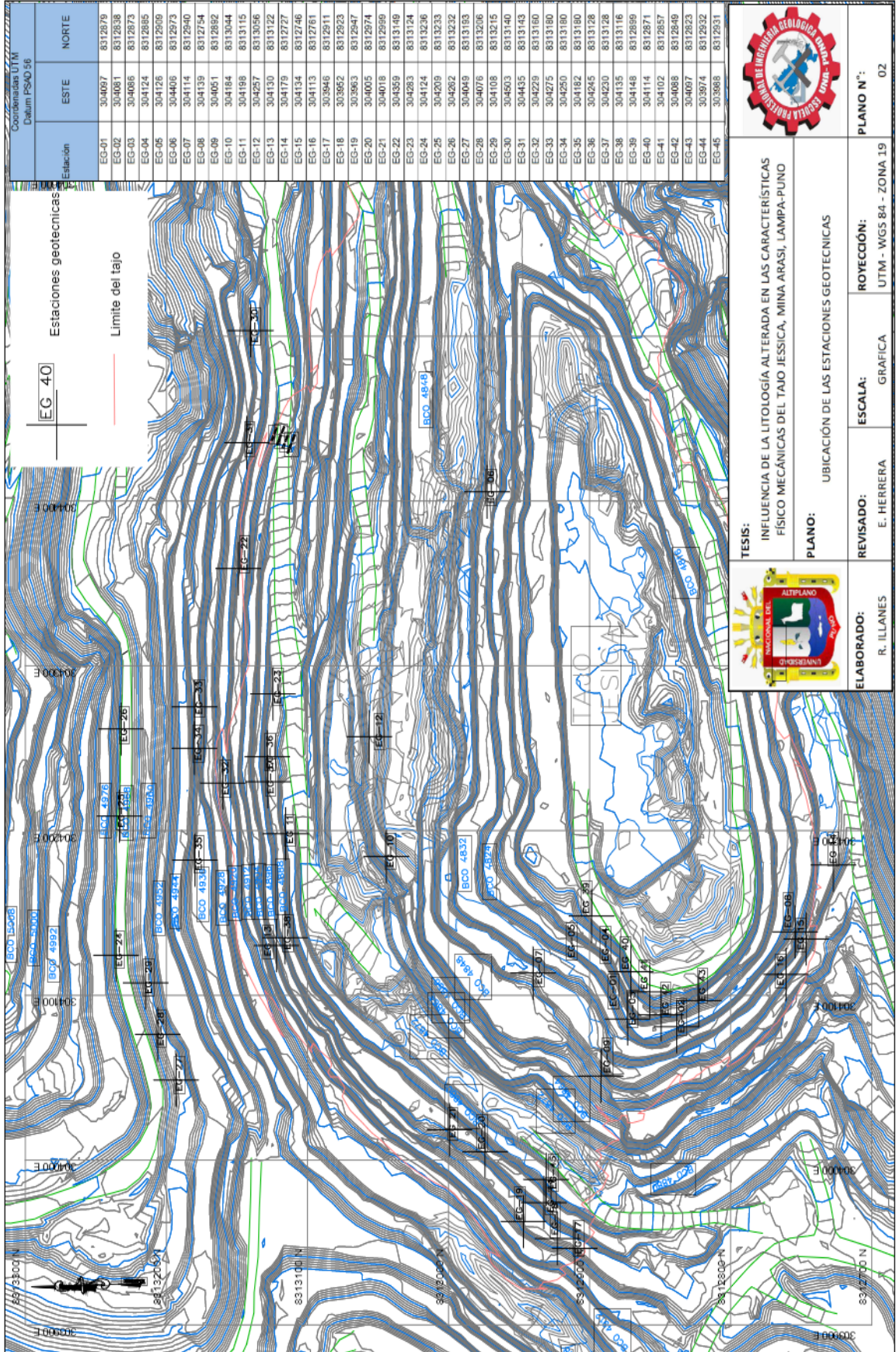
- Lindgren. (1911). The Tertiary gravel of the Sierra Nevada of California. *U. S. Geological Survey Professional Paper*, 73 - 226.
- Lozano, A. (2012). *Martillo Schmidt (esclerómetro) según norma ASTM D5873-D5*.
- Mercedes Ferrer, Luis I. Gonzáles de Vallejo. (2002). *Ingeniería Geológica*. Prentice Hall.
- Osinermin. (2007). Guía de criterio geomecánicos, para diseño, construcción, supervisión y cierre de labores subterráneas. Lima, Perú.
- Pirajno, F. (2009). Hydrothermal process and mineral systems. *Geological Survey of Australia*. Perth, Springer, Australia.
- R, S. (1987). Genesis of acid sulfate alteration and Au - Cu. *Economic Geology*, 1575 - 1591.
- Samaniego, N. (2005). . La Mesa Central: estratigrafía, estructura y. *Boletín Sociedad Geológica Mexicana*, 57 - 285 - 318.
- STROFFREGEN, R. (1987). Genesis of acid- sulfate alteration and Au – Cu-Ag. *Economic Geology*.
- Taylor, B. (2007). Epithermal gold deposits, in Goodfellow, W.D., ed., Mineral Deposits of Canada: A Synthesis of Major Deposit-Types, District Metallogeny, the Evolution of Geological Provinces, and Exploration Methods. *Geological Association of Canada, Mineral Deposits Division*. Special Publication No. 5.
- Torreblanca, I. B. (2008). *Estudio de Estabilidad Física de Taludes a Cielo Abierto del Tajo Jessica*. Puno: GEOSERVICE Ingeniería S.A.C.
- White NC, Hedenquist JW. (1995). Depósitos epitermales de oro: estilos, características y exploración. *Boletín SEG*, 23, 9 - 13.

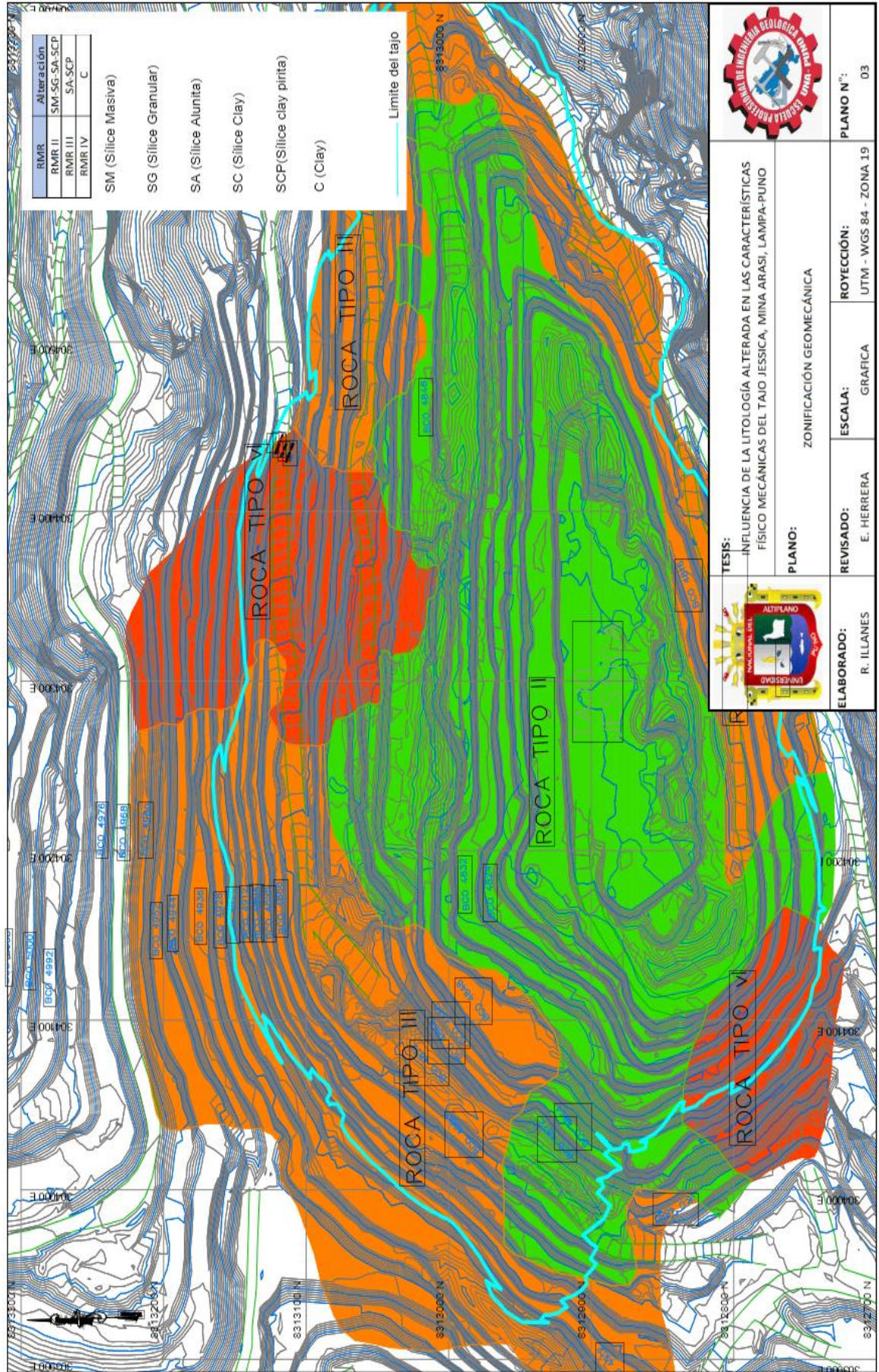




## ANEXOS







ANEXO: 4

Las tablas que se presentan como anexos fueron realizadas por Reyna Isabel Illanes Sucasaca y Editta Herrera Carranza, del tajo Jessica. Para fines diferentes.

BENCH DOCUMENTATION FORM															
STATION: EG-01	DOCUMENTED BY: E.H.C	4824	RQD %:	81											
DATE: 15/05/2015	STRUCT. DOMAIN	BENCH HT. (m): 8	FRICCIÓN ø:	40.5											
BLAST ID: PY-03 BC 4816	ROCK/ALT. TYPE: SG	RC (Mpa): 95	COHESION kpa: 355						Nº FRACT/METER: 8						
<b>ROCK MASS RATING (R.M.R.)</b>															
PARAMETER	VALUES								RATING						
Intact Strength (Mpa)	> 250	(15)	100 - 250	(12)	X	50 - 100	(7)	25-50	(4)	< 2.5 (2) < 5 (1) < 1	(0)	1	1.1		
R.Q.D. %	90 - 100	(20)	75 - 90	(17)		50 - 75	(13)	25 - 50	(8)	< 2.5	(3)	2	1.7		
Joint Spacing (m)	> 2	(20)	0.6 - 2	(15)		0.2 - 0.6	(10)	X	0.06 - 0.2	< 0.06	(5)	3	8		
Joint Condition	< 1m	(6)	1 - 3 m	(4)	X	3 - 10 m	(2)		10 - 20 m	> 20 m	(0)	4A	2		
	Close	(6)	0.1 mm	(5)	X	0.1 - 1.0 mm	(4)		1 - 5 mm	> 5 mm	(0)	4B	4		
	V. Rough	(6)	Rough	(5)		S. Rough	(3)		Smooth	Slickensided	(0)	4C	5		
Infilling	None	(6)	Hard < 5 mm	(4)	X	Hard > 5 mm	(2)		Soft < 5 mm	Soft > 5 mm	(0)	4D	4		
Weathering	None	(6)	S. Weathered	(5)	X	M. Weather.	(3)		V. Weather.	Decomposed	(0)	4E	5		
Groundwater conditions	Dry	(15)	Damp	(10)		Wet	(7)		Dripping	Flowing	(0)	5	1.5		
<b>ROCK MASS CLASSIFICATION</b>										RATING TOTAL RMR (Rating sum of 1 to 5) = 71					
RMR	100 - 81	I Very Good	80 - 61	II Good	61 - 50	III Fair A	50 - 41	III B Fair B	40 - 31	IV Poor A	30 - 21	IV B Poor B	20 - 0	<b>II</b>	
DESCRIPTION															
GSI-Surface conditions															
GSI-Structure															
<b>GEOLOGICAL STRENGTH INDEX (GSI)</b>										<b>66</b>					
										Módulo de Young (Gpa)				46.9	
										<b>DISCONTINUITY SETS</b>				<b>BLASTING INDEX</b>	
Set Nº	Type	Dip dir. (°)	Dip (°)	Length (m)	Spacing (m)	Bench face angle (°)	BENCH GEOMETRY DESIGN		Parameter		Value		IB		
1	D	238	64	8	0.2	68	RMD		JPS		20				
2	D	285	31	7	0.5	4.6	JPO		25		13				
3	D	109	62	4	0.2	<b>BENCH GEOMETRY BEFORE BLASTING</b>	<b>BENCH GEOMETRY BEFORE BLASTING</b>		<b>BENCH GEOMETRY BEFORE BLASTING</b>		<b>BENCH GEOMETRY BEFORE BLASTING</b>		<b>35</b>		

Fuente: Geotecnia Arasi

ANEXO: 5

BENCH DOCUMENTATION FORM									
STATION: EG-02	DOCUMENTED BY: E.H.C	4824	RQD %:	56					
DATE: 15/05/2015	STRUCT. DOMAIN	8	FRICCIÓN ø:	35					
BLAST ID:	ROCK/ALT. TYPE: SA	65	COHESION kpa:	300					Nº FRACT./METER: 15

ROCK MASS RATING (R.M.R.)												
PARAMETER	VALUES									RATING		
	Intact Strength (Mpa)	> 250	(15)	100 - 250	X	50 - 100	(7)	25 - 50	(4)		< 25 (2) < 5 (1) < 1	(0)
R.Q.D. %	90 - 100	(20)	75 - 90	X	50 - 75	(13)	25 - 50	(8)	< 25	(3)	2	
Joint Spacing (m)	> 2	(20)	0.6 - 2		0.2 - 0.6	(10)	0.06 - 0.2	(8)	< 0.06	(5)	3	
Joint Condition	Persistence	< 1m	X	1 - 3 m	(6)	3 - 10 m	(2)	1.0 - 20 m	(1)	> 20 m	(0)	4A
	Aperture	Close		0.1 mm	(6)	0.1 - 1.0 mm	(4)	1 - 5 mm	(1)	> 5 mm	(0)	4B
	Roughness	V. Rough		Rough	(6)	S. Rough	(3)	Smooth	(1)	Slickensided	(0)	4C
	Infilling	None		Hard < 5 mm	(4)	Hard > 5 mm	(2)	Soft < 5 mm	(2)	Soft > 5 mm	(0)	4D
	Weathering	None		S. Weathered	(5)	M. Weather.	(3)	V. Weather.	(2)	Decomposed	(0)	4E
Groundwater conditions	Dry	(15)	Damp		Wet	(7)	Dripping	(4)	Flowing	(0)	5	
RATING TOTAL RMR (Rating sum of 1 to 5) = 60												

ROCK MASS CLASSIFICATION									
RMR	100 - 81	80 - 61	60 - 50	50 - 41	40 - 31	30 - 21	20 - 0		
DESCRIPTION	I Very Good	II Good	IIIA Fair A	IIIB Fair B	IV A Poor A	IVB Poor B	V Very Poor		
GSI-Surface conditions		Very Good	X	Good		Poor	Very Poor		
GSI-Structure		Massive		Blocky	X	Very Blocky	Disturbed	Desintegrated	Laminated/Shear.
<b>GEOLOGICAL STRENGTH INDEX (GSI)</b>									
55									
Módulo de Young (Gpa) 34.2									

ROCK MASS CLASSIFICATION									
RMR	100 - 81	80 - 61	60 - 50	50 - 41	40 - 31	30 - 21	20 - 0		
DESCRIPTION	I Very Good	II Good	IIIA Fair A	IIIB Fair B	IV A Poor A	IVB Poor B	V Very Poor		
GSI-Surface conditions		Very Good	X	Good		Poor	Very Poor		
GSI-Structure		Massive		Blocky	X	Very Blocky	Disturbed	Desintegrated	Laminated/Shear.
<b>GEOLOGICAL STRENGTH INDEX (GSI)</b>									
55									
Módulo de Young (Gpa) 34.2									

DISCONTINUITY SETS									
Set Nº	Type	Dip dir. (°)	Dip (°)	Length (m)	Spacing (m)	BENCH GEOMETRY DESIGN		BLASTING INDEX	
						Bench face angle (°)	68	Parameter	Value
1								RMD	IB
2						4.6		JPS	

Fuente: Geotecnia Arasi

ANEXO: 6

BENCH DOCUMENTATION FORM									
STATION: EG-03	DOCUMENTED BY: E.H.C	BENCH: 4824	RQD %: 52						
DATE: 15/05/2015	STRUCT.DOMAIN	BENCH HT. (m): 8	FRICCIÓN ø: 37.5						
BLAST ID:	ROCK/ALT. TYPE: SG	RC (Mpa): 165	COHESION kpa: 325					Nº FRACT/METER: 16	

ROCK MASS RATING (R.M.R.)													
PARAMETER	VALUES									RATING			
	Intact Strength (Mpa)	>250	(15)	X	100 - 250	(12)		50 - 100	(7)		25 - 50	(4)	<25 (2) <5 (1) <1 (0)
R.Q.D. %	90 - 100	(20)		75 - 90	(17)	X	50 - 75	(13)	25 - 50	(8)	<25 (3)	2	11
Joint Spacing (m)	>2	(20)		0.6 - 2	(15)		0.2 - 0.6	(10)	X	(8)	<0.06 (5)	3	8
Persistence	<1m	(6)		1 - 3 m	(4)	X	3 - 10 m	(2)		(1)	>20 m (0)	4A	2
Aperture	Close	(6)		0.1 mm	(5)	X	0.1 - 1.0 mm	(4)		(1)	>5 mm (0)	4B	4
Roughness	V. Rough	(6)	X	Rough	(5)		S. Rough	(3)		(1)	Slickensided (0)	4C	5
Infilling	None	(6)	X	Hard < 5 mm	(4)		Hard > 5 mm	(2)		(2)	Soft > 5 mm (0)	4D	4
Weathering	None	(6)	X	S. Weathered	(5)		M. Weather.	(3)		(2)	Decomposed (0)	4E	5
Groundwater conditions	Dry	(15)		Damp	(10)		Wet	(7)		(4)	Flowing (0)	5	15
RATING TOTAL RMR (Srating sum of 1 to 5) =										65			

ROCK MASS CLASSIFICATION													
RMR	100 - 81	80 - 61	61 - 50	50 - 41	40 - 31	30 - 21	20 - 0						
DESCRIPTION	I Very Good	II Good	IIIA Fair A	IIIB Fair B	IVA Poor A	IVB Poor B	V Very Poor						
GSI-Surface conditions		Very Good	X	Fair	Poor	Very Poor							
GSI-Structure		Massive	X	Very Blocky	Disturbed	Desintegrated	Laminated/Shear						
GEOLOGICAL STRENGTH INDEX (GSI)										60			
DISCONTINUITY SETS													
Set Nº	Type	Dip dir. (º)	Dip (º)	Length (m)	Spacing (m)	Bench face angle (º)	BLASTING INDEX						
1	D	200	81				68	Parameter	Value	IB			
2	D	42	69				4.6	RMD	20				
								JPS	15				
Módulo de Young (Gpa)										39.2			

Fuente: Geotecnia Arasi

ANEXO: 7

BENCH DOCUMENTATION FORM													
STATION: EG-04	DOCUMENTED BY: E.H.C	BENCH: 4816	RQD %: 74										
DATE: 16/05/2015	STRUCT. DOMAIN	BENCH HT. (m): 8	FRICCIÓN e: 34										
BLAST ID:	ROCK/ALT. TYPE: SG	RC (Mpa): 95	COHESION kpa: 290					Nº FRACT/METER: 10					
ROCK MASS RATING (R.M.R.)													
PARAMETER	VALUES								RATING				
Intact Strength (Mpa)	> 250	(15)	100 - 250	(12)	X	50 - 100	(7)	25 - 50	(4)	<25 (2) <5 (1) <1	(0)	1	9
R.Q.D. %	90 - 100	(20)	75 - 90	(17)	X	50 - 75	(13)	25 - 50	(8)	<25	(3)	2	14
Joint Spacing (m)	> 2	(20)	0.6 - 2	(15)		0.2 - 0.6	(10)	0.06 - 0.2	(8)	X	<0.06	(5)	5
Joint Condition	< 1m	(6)	1 - 3 m	(4)	X	3 - 10 m	(2)	10 - 20 m	(1)	> 20 m	(0)	4A	2
	Close	(6)	0.1 mm	(5)		0.1 - 1.0 mm	(4)	X	1 - 5 mm	> 5 mm	(0)	4B	1
	V. Rough	(6)	Rough	(5)	X	S. Rough	(3)	Smooth	(1)	Slickensided	(0)	4C	3
Infilling	None	(6)	Hard < 5 mm	(4)		Hard > 5 mm	(2)	Soft < 5 mm	(2)	Soft > 5 mm	(0)	4D	4
	None	(6)	S. Weathered	(5)	X	M. Weather.	(3)	V. Weather.	(2)	Decomposed	(0)	4E	5
Groundwater conditions	X	(15)	Damp	(10)		Wet	(7)	Dripping	(4)	Flowing	(0)	5	15
RATING TOTAL RMR (Rating sum of 1 to 5) =										58	III A		
ROCK MASS CLASSIFICATION													
RMR	100 - 81	80 - 61	61 - 50	50 - 41	40 - 31	30 - 21	20 - 0						
DESCRIPTION	I Very Good	II Good	IIIA Fair A	IIIB Fair B	IV A Poor A	IVB Poor B	V Very Poor						
GSI - Surface conditions		Very Good	Good	X	Fair	Poor	Very Poor						
GSI - Structure		Massive	X	Blocky	Very Blocky	Disturbed	Desintegrated	Laminated/Shear.					
GEOLOGICAL STRENGTH INDEX (GSI)										53	32.6		
DISCONTINUITY SETS													
Set Nº	Type	Dip dir. (°)	Dip (°)	Length (m)	Spacing (m)	Bench face angle (°)	BENCH GEOMETRY DESIGN			BLASTING INDEX			
1	D	75	22				68	Parameter	Value	IB			
2	D	61	77				4.6	RMD	15				
3	D	201	56					JPS	12				
BENCH GEOMETRY BEFORE BLASTING							BENCH GEOMETRY AFTER BLASTING			25.5			

Fuente: Geotecnia Arasi



ANEXO: 8

BENCH DOCUMENTATION FORM										
STATION:	EG-05	DOCUMENTED BY:	E.H.C	BENCH:	4824	RQD %:	74			
DATE:	16/05/2015	STRUCT. DOMAIN		BENCH HT. (m):	8	FRICCIÓN %:	31.5			
BLAST ID:		ROCK/ALT. TYPE:	SA-SG	RC (Mpa):	65	COHESION kpa:	265	Nº FRACT/METER:	10	

ROCK MASS RATING (R.M.R.)												
PARAMETER	VALUES									RATING		
	Intact Strength (Mpa)	> 250	(15)	100 - 250	(12)	X	50 - 100	(7)	25 - 50		(4)	< 25 (2) < 5 (1) < 1
R.Q.D. %	90 - 100	(20)	75 - 90	(17)	X	50 - 75	(13)	25 - 50	(8)	< 25	(3)	2
Joint Spacing (m)	> 2	(20)	0.6 - 2	(15)		0.2 - 0.6	(10)	0.06 - 0.2	(8)	X	< 0.06	(5)
Joint Condition	Persistence	< 1m	1 - 3 m	(4)	X	3 - 10 m	(2)	10 - 20 m	(1)	> 20 m	(0)	4A
	Aperture	Close	0.1 mm	(5)		0.1 - 1.0 mm	(4)	1 - 5 mm	(1)	> 5 mm	(0)	4B
	Roughness	V. Rough	Rough	(5)	X	S. Rough	(3)	Smooth	(1)	Slickensided	(0)	4C
	Infilling	None	Hard < 5 mm	(4)		Hard > 5 mm	(2)	Soft < 5 mm	(2)	Soft > 5 mm	(0)	4D
Weathering	None	(6)	S. Weathered	(5)		M. Weather.	(3)	V. Weather.	(2)	Decomposed	(0)	4E
	Dry	(15)	Damp	(10)		Wet	(7)	Dripping	(4)	Flowing	(0)	5
Groundwater conditions	X											15
RATING TOTAL RMR (Rating sum of 1 to 5) =										53		

ROCK MASS CLASSIFICATION														
RMR	100 - 81	I Very Good	80 - 61	II Good	61 - 50	III Fair A	50 - 41	IIIB Fair B	40 - 31	IVA Poor A	30 - 21	IVB Poor B	20 - 0	V Very Poor
DESCRIPTION														
GSI-Surface conditions			Very Good		Good		X	Fair	Poor		Disturbed	Very Poor		
GSI-Structure			Massive	X	Blocky		Very Blocky				Desintegrated		Laminated/Shear.	
GEOLOGICAL STRENGTH INDEX (GSI)										48				
Módulo de Young (Gpa)										29.1				

DISCONTINUITY SETS										
Set Nº	Type	Dip dir. (°)	Dip (°)	Length (m)	Spacing (m)	Bench face angle (°)	Bench face dip. Dir (°)	Berm width (m)	Parameter	Value
1	D	76	70			68			RMD	20
2	D	265	51			4.6			JPS	12

Fuente: Geotecnia Arasi

ANEXO: 9

BENCH DOCUMENTATION FORM														
STATION:	EG-06	DOCUMENTED BY:	E.H.C	BENCH:	4832	RQD %:	81							
DATE:	16/05/2015	STRUCT. DOMAIN		BENCH HT. (m):	8	FRICCIÓN °:	34.5							
BLAST ID:		ROCK/ALT. TYPE:	SM	RC (Mpa):	80	COHESION kpa:	295			Nº FRACT/METER: 8				
ROCK MASS RATING (R.M.R.)														
PARAMETER	VALUES									RATING				
	Intact Strength (Mpa)	> 250	(15)	100 - 250	(12)	X	50 - 100	(7)	25 - 50		(4)	< 25 (2) < 5 (1) < 1	(0)	1
R.Q.D. %	90 - 100	(20)	X	75 - 90	(17)		50 - 75	(13)	25 - 50	(8)	< 25	(3)	2	
Joint Spacing (m)	> 2	(20)		0.6 - 2	(15)	X	0.2 - 0.6	(10)	0.06 - 0.2	(8)	< 0.06	(5)	3	
Joint Condition	Persistence	< 1m	(6)	1 - 3 m	(4)	X	3 - 10 m	(2)	10 - 20 m	(1)	> 20 m	(0)	4A	
	Aperture	Close	(6)	0.1 mm	(5)		0.1 - 1.0 mm	(4)	1 - 5 mm	(1)	> 5 mm	(0)	4B	
	Roughness	V. Rough	(6)	Rough	(5)	X	S. Rough	(3)	Smooth	(1)	Slickensided	(0)	4C	
	Infilling	None	(6)	Hard < 5 mm	(4)		Hard > 5 mm	(2)	Soft < 5 mm	(2)	Soft > 5 mm	(0)	4D	
	Weathering	None	(6)	S. Weathered	(5)	X	M. Weather.	(3)	V. Weather.	(2)	Decomposed	(0)	4E	
Groundwater conditions	Dry	(15)	Damp	(10)		Wet	(7)	Dripping	(4)	Flowing	(0)	5		
RATING TOTAL RMR (Rating sum of 1 to 5) =										59				
ROCK MASS CLASSIFICATION										III A				
RMR	100 - 81	I Very Good	80 - 61	II Good	61 - 50	III A Fair A	50 - 41	III B Fair B	40 - 31			IV A Poor A	30 - 21	IV B Poor B
GSI-Surface conditions			Very Good		Good		X	Fair		Poor		Very Poor		
GSI-Structure			Massive		Blocky		X	Very Blocky		Disturbed		Des integrated		Laminated/Shear.
GEOLOGICAL STRENGTH INDEX (GSI)										54		33.4		
DISCONTINUITY SETS										BLASTING INDEX				
Set Nº	Type	Dip dir. (°)	Dip (°)	Length (m)	Spacing (m)	Bench face angle (°)	68		Parameter	Value	IB			
1	D	203	76			Bench face dip. Dir (°)	4.6		RMD	20				
2	D	302	12			Berm width (m)			JPS	13				
3						BENCH GEOMETRY BEFORE BLASTING		JPO	22	34.625				

Fuente: Geotecnia Arasi

ANEXO: 10

BENCH DOCUMENTATION FORM											
STATION:	EG-07	DOCUMENTED BY:	E.H.C	BENCH:	4840	RQD %:	81				
DATE:	17/05/2015	STRUCT. DOMAIN		BENCH HT. (m):	8	FRICCIÓN %:	35				
BLAST ID:		ROCK/ALT. TYPE:	SCP	RC (Mpa):	112	COHESION kpa:	300	Nº FRACT/METER:	8		
ROCK MASS RATING (R.M.R.)											
PARAMETER	VALUES								RATING		
Intact Strength (Mpa)	> 250	(15)	X	100 - 250	(12)	50 - 100	(7)	25 - 50	(4)	<25 (2) <5 (1) <1 (0)	1
R.Q.D. %	90 - 100	(20)	X	75 - 90	(17)	50 - 75	(13)	25 - 50	(8)	<25 (3)	2
Joint Spacing (m)	> 2	(20)		0.6 - 2	(15)	X	0.2 - 0.6	(10)	(8)	0.06 - 0.2 (5)	3
Joint Condition	Persistence	< 1m	(6)	1 - 3 m	(4)	X	3 - 10 m	(2)	(1)	> 20 m (0)	4A
	Aperture	Close	(6)	0.1 mm	(5)		0.1 - 1.0 mm	(4)	(1)	> 5 mm (0)	4B
Infilling	Roughness	V. Rough	(6)	Rough	(5)		S. Rough	(3)	(1)	Slickensided (0)	4C
	Weathering	None	(6)	Hard < 5 mm	(4)	X	Hard > 5 mm	(2)	(2)	Soft < 5 mm (0)	4D
Groundwater conditions	Weathering	None	(6)	S. Weathered	(5)	X	M. Weather.	(3)	(2)	Decomposed (0)	4E
		Dry	(15)	Damp	(10)		Wet	(7)	(4)	Flowing (0)	5
RATING TOTAL RMR (Rating sum of 1 to 5) = 60											
ROCK MASS CLASSIFICATION										III A	
RMR	100 - 81	80 - 61	61 - 50	50 - 41	40 - 31	30 - 21	20 - 0				
DESCRIPTION	I Very Good	II Good	IIIA Fair A	IIIB Fair B	IV A Poor A	IV B Poor B	V Very Poor				
GSI-Surface conditions		Very Good	Good	X	Fair	Poor	Very Poor				
GSI-Structure		Massive	X	Blocky	Very Blocky	Disturbed	Des integrated	Laminated/Shear.			
GEOLOGICAL STRENGTH INDEX (GSI)											55
Módulo de Young (Gpa)											34.2
DISCONTINUITY SETS										BLASTING INDEX	
Set Nº	Type	Dip dir. (º)	Dip (º)	Length (m)	Spacing (m)	Bench face angle (º)	68	Parameter	Value	IB	
1	D	198	32	10	0.5	Bench face dip. Dir (º)		RMD	20		
2	D	190	82	8	0.3	Berm width (m)	4.6	JPS	15		

Fuente: Geotecnia Arasi

ANEXO: 11

BENCH DOCUMENTATION FORM									
STATION: EG-08	DOCUMENTED BY: E.H.C	BENCH: 4832	RQD %: 56						
DATE: 17/05/2015	STRUCT.DOMAIN	BENCH HT. (m): 8	FRICCIÓN #: 28.5						
BLAST ID:	ROCK/ALT. TYPE: CP	RC (Mpa): 80	COHESION kpa: 235					Nº FRACT/METER: 15	
ROCK MASS RATING (R.M.R.)									
PARAMETER	VALUES								RATING
Intact Strength (Mpa)	> 250 (15)	100 - 250 (12)	50 - 100 (7)	25 - 50 (4)	< 25 (2) < 5 (1) < 1 (0)				1
R.Q.D. %	90 - 100 (20)	75 - 90 (17)	50 - 75 (13)	25 - 50 (8)	< 25 (3)				2
Joint Spacing (m)	> 2 (20)	0.6 - 2 (15)	0.2 - 0.6 (10)	0.06 - 0.2 (8)	< 0.06 (5)				3
Joint Condition	Persistence	< 1m (6)	1 - 3 m (4)	3 - 10 m (2)	10 - 20 m (1)	> 20 m (0)			4A
	Aperture	Close (6)	0.1 mm (5)	0.1 - 1.0 mm (4)	1 - 5 mm (1)	> 5 mm (0)			4B
	Roughness	V. Rough (6)	Rough (5)	S. Rough (3)	Smooth (1)	Slickensided (0)			4C
	Infilling	None (6)	Hard < 5 mm (4)	Hard > 5 mm (2)	Soft < 5 mm (2)	Soft > 5 mm (0)			4D
Weathering	None (6)	S. Weathered (5)	M. Weather. (3)	V. Weather. (2)	Decomposed (0)				4E
Groundwater conditions	Dry (15)	Damp (10)	Wet (7)	Dripping (4)	Flowing (0)				5
									15
RATING TOTAL RMR (Strating sum of 1 to 5) = 47									
ROCK MASS CLASSIFICATION									
RMR	100 - 81	80 - 61	61 - 50	50 - 41	40 - 31	30 - 21	20 - 0		
DESCRIPTION	I Very Good	II Good	IIIA Fair A	IIIB Fair B	IV A Poor A	IVB Poor B	V Very Poor		III B
GSI-Surface conditions		Very Good	Good	Fair	Poor	Very Poor			
GSI-Structure		Massive	Blocky	Very Blocky	Disturbed	Desintegrated			Laminated/Shear.
GEOLOGICAL STRENGTH INDEX (GSI) 42									
								Módulo de Young (Gpa)	25.9
DISCONTINUITY SETS									
BLASTING INDEX									
Set Nº	Type	Dip dir. (°)	Dip (°)	Length (m)	Spacing (m)	Bench face angle (°)	Parameter	Value	IB
1	D	272	36			68	RMD	15	

Fuente: Geotecnia Arasi

ANEXO: 12

BENCH DOCUMENTATION FORM													
STATION: EG-09	DOCUMENTED BY: E.H.C	BENCH: 4848	RQD %: 91										
DATE: 17/05/2015	STRUCT.DOMAIN	BENCH HT. (m): 8	FRICCIÓN °: 35.5										
BLAST ID:	ROCK/ALT. TYPE: SG	RC (Mpa): 86	COHESION kpa: 305					Nº FRACT/METER: 5					
ROCK MASS RATING (R.M.R.)													
PARAMETER	VALUES								RATING				
Intact Strength (Mpa)	> 250	(15)	100 - 250	(12)	X	50 - 100	(7)	25 - 50	(4)	< 25 (2) < 5 (1) < 1	(0)	1	
R.Q.D. %	90 - 100	(20)	X	75 - 90	(17)	50 - 75	(13)	25 - 50	(8)	< 25	(3)	2	
Joint Spacing (m)	> 2	(20)	0.6 - 2	(15)	X	0.2 - 0.6	(10)	0.06 - 0.2	(8)	< 0.06	(5)	3	
Persistence	< 1m	(6)	1 - 3 m	(4)	X	3 - 10 m	(2)	10 - 20 m	(1)	> 20 m	(0)	4A	
	Close	(6)	0.1 mm	(5)		0.1 - 1.0 mm	(4)	1 - 5 mm	(1)	> 5 mm	(0)	4B	
Joint Condition	V. Rough	(6)	Rough	(5)	X	S. Rough	(3)	Smooth	(1)	Slickensided	(0)	4C	
	None	(6)	Hard < 5 mm	(4)		Hard > 5 mm	(2)	Soft < 5 mm	(2)	Soft > 5 mm	(0)	4D	
Weathering	None	(6)	S. Weathered	(5)	X	M. Weather.	(3)	V. Weather.	(2)	Decomposed	(0)	4E	
Groundwater conditions	X	(15)	Damp	(10)		Wet	(7)	Dripping	(4)	Flowing	(0)	5	
												15	
												5	
												15	
												61	
												61	
ROCK MASS CLASSIFICATION													
RMR	100 - 81		80 - 61		60 - 50		50 - 41		40 - 31		30 - 21		20 - 0
DESCRIPTION	I Very Good		II Good		IIIA Fair A		IIIB Fair B		IVA Poor A		IVB Poor B		V Very Poor
GSI - Surface conditions			Very Good		Good		Fair		Poor		Very Poor		
GSI - Structure			Massive		Blocky		Very Blocky		Disturbed		Desintegrated		Laminated/Shear.
<b>GEOLOGICAL STRENGTH INDEX (GSI)</b>													<b>56</b>
													35.1
DISCONTINUITY SETS													
Set Nº	Type	Dip dir. (°)	Dip (°)	Length (m)	Spacing (m)	Bench face angle (°)	Bench face dip. Dir (°)	Berm width (m)	BENCH GEOMETRY BEFORE BLASTING	BENCH GEOMETRY DESIGN	Parameter	Value	BLASTING INDEX
1	F	178	89			68	RMD		JPS	JPS		20	IB
2	D	78	84			4.6	JPS		JPO	JPO		20	
3	D	229	40									25	<b>38.275</b>

Fuente: Geotecnia Arasi

ANEXO: 13

BENCH DOCUMENTATION FORM													
STATION: EG-10	DOCUMENTED BY: E.H.C	BENCH: 4856	RQD %: 91										
DATE: 17/05/2015	STRUCT.DOMAIN	BENCH HT. (m): 8	FRICCIÓN #: 38										
BLAST ID:	ROCK/ALT. TYPE: SM	RC (Mpa): 175	COHESION kpa: 330					Nº FRACT/METER: 5					
ROCK MASS RATING (R.M.R.)													
PARAMETER	VALUES								RATING				
Intact Strength (Mpa)	>250	(15)	X	100 -250	(12)	50 -100	(7)	25 -50	(4)	<25 (2) <5 (1) <1	(0)	1	12
R.Q.D. %	90 -100	(20)	X	75 -90	(17)	50 -75	(13)	25 -50	(8)	<25	(3)	2	17
Joint Spacing (m)	>2	(20)		0.6 -2	(15)	X	0.2 -0.6	(10)	(8)	0.06 -0.2	(5)	3	10
Joint Condition	Persistence	<1m	(6)	X	3 -10 m	(4)	(2)	10 -20 m	(1)	>20 m	(0)	4A	2
	Aperture	Close	(6)		0.1 -1.0 mm	(5)	X	1 -5 mm	(1)	>5 mm	(0)	4B	1
	Roughness	V. Rough	(6)		S. Rough	(5)	X	Smooth	(1)	Slickensided	(0)	4C	3
	Infilling	None	(6)	X	Hard <5 mm	(4)		Soft <5 mm	(2)	Soft >5 mm	(0)	4D	2
	Weathering	None	(6)		S.Weathered	(5)	X	M. Weather.	(3)	V. Weather.	(2)	4E	4
Groundwater conditions	Dry	(15)	X	Damp	(10)		Wet	(7)	Dripping	(4)	(0)	5	15
RATING TOTAL RMR (Strating sum of 1 to 5) =										66			
ROCK MASS CLASIFICATION										II			
RMR	100 - 81	80 - 61	61 - 50	50 - 41	40 - 31	30-21	20 - 0						
DESCRIPTION	I Very Good	II Good	IIIA Fair A	IIIB Fair B	IVA Poor A	IVB Poor B	V Very Poor						
GSI-Surface conditions	Very Good	Good	X	Fair	Poor	Very Poor							
GSI-Structure	Massive	Blocky	X	Very Blocky	Disturbed	Laminated/Shear.							
<b>GEOLOGICAL STRENGTH INDEX (GSI)</b>										<b>61</b>			
Módulo de Young (Gpa)										40.3			
DISCONTINUITY SETS										BLASTING INDEX			
Set Nº	Type	Dip dir. (°)	Dip (°)	Length (m)	Spacing (m)	Bench face angle (°)	68	Parameter	Value	IB			
1	D	232	77			Bench face dip. Dir (°)		RMD	20				
2	D	172	75			Berm width (m)	4.6	JPS	13				

Fuente: Geotecnia Arasi

ANEXO: 14

BENCH DOCUMENTATION FORM											
STATION: EG-11	DOCUMENTED BY: E.H.C	BENCH: 4880	RQD %: 81								
DATE: 17/05/2015	STRUCT. DOMAIN	BENCH HT. (m): 8	FRICCIÓN %: 36.5								
BLAST ID:	ROCK/ALT. TYPE: SM	RC (Mpa): 150	COHESION kpa: 315					Nº FRACT/METER: 8			
ROCK MASS RATING (R.M.R.)											
PARAMETER	VALUES								RATING		
Intact Strength (Mpa)	> 250	(15)	X	100 - 250	(12)	50 - 100	(7)	25 - 50	(4)	< 25 (2) < 5 (1) < 1 (0)	1
R.Q.D. %	90 - 100	(20)	X	75 - 90	(17)	50 - 75	(13)	25 - 50	(8)	< 25	2
Joint Spacing (m)	> 2	(20)		0.6 - 2	(15)	0.2 - 0.6	(10)	X	0.06 - 0.2	< 0.06	3
Joint Condition	Persistence	< 1m	(6)	1 - 3 m	(4)	X	3 - 10 m	(2)	10 - 20 m	> 20 m	4A
	Aperture	Close	(6)	0.1 mm	(5)	X	0.1 - 1.0 mm	(4)	1 - 5 mm	> 5 mm	4B
	Roughness	V. Rough	(6)	Rough	(5)	X	S. Rough	(3)	Smooth	Slickensided	4C
	Infilling	None	(6)	Hard < 5 mm	(4)	X	Hard > 5 mm	(2)	Soft < 5 mm	Soft > 5 mm	4D
Weathering	None	(6)	S. Weathered	(5)	X	M. Weathered	(3)	V. Weathered	Decomposed	(0)	4E
Groundwater conditions	X Dry	(15)	Damp	(10)		Wet	(7)	Dripping	(4)	Flowing	5
RATING TOTAL RMR (Strating sum of 1 to 5) = 63											
ROCK MASS CLASIFICATION											
RMR	100 - 81	80 - 61	61 - 50	50 - 41	40 - 31	30 - 21	20 - 0				
DESCRIPTION	I Very Good	II Good	IIIA Fair A	IIIB Fair B	IVB Poor A	IVB Poor B	V Very Poor				
GSI-Surface conditions		Very Good	Good	Fair	Poor	Very Poor					
GSI-Structure		Massive	X Blocky	Very Blocky	Disturbed	Desintegrated	Laminated/Shear.				
<b>GEOLOGICAL STRENGTH INDEX (GSI)</b>											
										<b>58</b>	
											<b>37.0</b>
DISCONTINUITY SETS											
Set Nº	Type	Dip dir. (º)	Dip (º)	Length (m)	Spacing (m)	BENCH GEOMETRY DESIGN		BLASTING INDEX			
						Bench face angle (º)	Bench face dip. Dir (º)	Parameter	Value		
1	D	170	69			68		RMD	20		

Fuente: Geotecnia Arasi

ANEXO: 15

BENCH DOCUMENTATION FORM													
STATION: EG-12	DOCUMENTED BY: E.H.C	BENCH: 4864	RQD %: 81										
DATE: 19/05/2015	STRUCT. DOMAIN	BENCH HT. (m): 8	FRICCION °: 40.5										
BLAST ID:	ROCK/ALT. TYPE: SM	RC (Mpa): 99	COHESION kpa: 355						Nº FRACT/METER: 8				
ROCK MASS RATING (R.M.R.)													
PARAMETER	VALUES									RATING			
	Intact Strength (Mpa)	> 250	(15)	100 - 250	(12)	X	50 - 100	(7)	25 - 50		(4)	< 25 (2) < 5 (1) < 1	(0)
R.Q.D. %	90 - 100	(20)	X	75 - 90	(17)		50 - 75	(13)	25 - 50	(8)	< 25	(3)	2
Joint Spacing (m)	> 2	(20)		0.6 - 2	(15)		0.2 - 0.6	(10)	X	0.06 - 0.2	< 0.06	(5)	3
Joint Condition	Persistence	< 1m	(6)	1 - 3 m	(4)	X	3 - 10 m	(2)		10 - 20 m	> 20 m	(0)	4A
	Aperture	Close	(6)	0.1 mm	(5)	X	0.1 - 1.0 mm	(4)		1 - 5 mm	> 5 mm	(0)	4B
	Roughness	V. Rough	(6)	Rough	(5)	X	S. Rough	(3)		Smooth	Slickensided	(0)	4C
	Infilling	None	(6)	Hard < 5 mm	(4)		Hard > 5 mm	(2)		Soft < 5 mm	Soft > 5 mm	(0)	4D
	Weathering	None	(6)	S.Weathered	(5)		M. Weather.	(3)		V. Weather.	Decomposed	(0)	4E
Groundwater conditions	X	Dry	(15)	Damp	(10)		Wet	(7)		Dripping	Flowing	(0)	5
													15
RATING TOTAL RMR (Rating sum of 1 to 5) =											71		
ROCK MASS CLASSIFICATION													
RMR	100 - 81	80 - 61	61 - 50	50 - 41	40 - 31	30 - 21	20 - 0						
DESCRIPTION	I Very Good	II Good	IIIA Fair A	IIIB Fair B	IV A Poor A	IVB Poor B	V Very Poor						
GSI-Surface conditions													
GSI-Structure													
GEOLOGICAL STRENGTH INDEX (GSI)										66			
DISCONTINUITY SETS													
Set Nº	Type	Dip dir. (°)	Dip (°)	Length (m)	Spacing (m)	Bench face angle (°)	Parameter	Value					IB
1	D	352	21			68	RMD	30					
2	D	98	76			4.6	JPS	18					
Módulo de Young (Gpa)										46.9			
BLASTING INDEX													

Fuente: Geotecnia Arasi



ANEXO: 16

BENCH DOCUMENTATION FORM									
STATION: EG-13	DOCUMENTED BY: E.H.C	BENCH: 4896	RQD %: 77						
DATE: 19/05/2015	STRUCT.DOMAIN	BENCH HT. (m): 8	FRICCIÓN %: 25						
BLAST ID:	ROCK/ALT. TYPE: C	RC (Mpa): 27	COHESION kpa: 200					Nº FRACT/METER: 9	
ROCK MASS RATING (R.M.R.)									
PARAMETER	VALUES								RATING
Intact Strength (Mpa)	> 250 (15)	100 - 250 (12)	50 - 100 (7)	25 - 50 (4)	< 25 (2) < 5 (1) < 1 (0)				1 2
R.Q.D. %	90 - 100 (20)	75 - 90 (17)	50 - 75 (13)	25 - 50 (8)	< 25 (3)				2 1.4
Joint Spacing (m)	> 2 (20)	0.6 - 2 (15)	0.2 - 0.6 (10)	0.06 - 0.2 (8)	< 0.06 (5)				3 8
Joint Condition	< 1m (6)	1 - 3 m (4)	3 - 10 m (2)	10 - 20 m (1)	> 20 m (0)				4A 2
	Close (6)	0.1 mm (5)	0.1 - 1.0 mm (4)	1 - 5 mm (1)	> 5 mm (0)				4B 0
Roughness	V. Rough (6)	Rough (5)	S. Rough (3)	Smooth (1)	Slickensided (0)				4C 1
Infilling	None (6)	Hard < 5 mm (4)	Hard > 5 mm (2)	Soft < 5 mm (2)	Soft > 5 mm (0)				4D 0
Weathering	None (6)	S.Weathered (5)	M.Weather. (3)	V. Weather. (2)	Decomposed (0)				4E 3
Groundwater conditions	Dry (15)	Damp (10)	Wet (7)	Dripping (4)	Flowing (0)				5 1.0
RATING TOTAL RMR (Rating sum of 1 to 5) = 40									
ROCK MASS CLASSIFICATION									
RMR	100 - 81	80 - 61	61 - 50	50 - 41	40 - 31	30 - 21	20 - 0		
DESCRIPTION	I Very Good	II Good	IIIA Fair A	IIIB Fair B	IV A Poor A	IVB Poor B	V Very Poor		IVA
GSI-Surface conditions		Very Good	Good	Fair	Poor	Very Poor			
GSI-Structure		Massive	Blocky	Very Blocky	Disturbed	Desintegrated			Laminated/Shear.
<b>GEOLOGICAL STRENGTH INDEX (GSI)</b>									
									35
									22.6
									Módulo de Young (Gpa)
DISCONTINUITY SETS									
Set Nº	Type	Dip dir. (°)	Dip (°)	Length (m)	Spacing (m)	Bench face angle (°)	BLASTING INDEX		
	1	D	233	64		68	Parameter	Value	IB
							RMD	15	

Fuente: Geotecnia Arasi

ANEXO: 17

BENCH DOCUMENTATION FORM										
STATION: EG-14	DOCUMENTED BY: R.I.I.S	BENCH: 4840	RQD %:	84						
DATE: 2/08/2015	STRUCT.DOMAIN	BENCH HT. (m): 8	FRICCIÓN %:	34						
BLAST ID:	ROCK/ALT. TYPE: SA	RC (Mpa): 65	COHESION kpa: 290					Nº FRACT/METER:	7	
ROCK MASS RATING (R.M.R.)										
PARAMETER	VALUES								RATING	
Intact Strength (Mpa)	> 250 (15)	100 - 250 (12)	50 - 100 (7)	25 - 50 (4)	< 25 (2) < 5 (1) < 1 (0)				1 5	
R.Q.D. %	90 - 100 (20)	75 - 90 (17)	50 - 75 (13)	25 - 50 (8)	< 25 (3)				2 13	
Joint Spacing (m)	> 2 (20)	0.6 - 2 (15)	0.2 - 0.6 (10)	0.06 - 0.2 (8)	< 0.06 (5)				3 8	
Joint Condition	Persistence < 1m (6)	1 - 3 m (4)	3 - 10 m (2)	10 - 20 m (1)	> 20 m (0)				4A 1	
	Aperture Close (6)	0.1 mm (5)	0.1 - 1.0 mm (4)	1 - 5 mm (1)	> 5 mm (0)				4B 4	
	Roughness V. Rough (6)	Rough (5)	S. Rough (3)	Smooth (1)	Slickensided (0)				4C 3	
	Infilling None (6)	Hard < 5 mm (4)	Hard > 5 mm (2)	Soft < 5 mm (2)	Soft > 5 mm (0)				4D 4	
Weathering None (6)	S. Weathered (5)	M. Weathered (3)	V. Weathered (2)	Decomposed (0)					4E 5	
Groundwater conditions Dry (15)	Damp (10)	Wet (7)	Dripping (4)	Flowing (0)					5 15	
RATING TOTAL RMR (Rating sum of 1 to 5) = 58										
ROCK MASS CLASSIFICATION										
RMR	100 - 81	80 - 61	61 - 50	50 - 41	40 - 31	30 - 21	20 - 0			IIIA
DESCRIPTION	I Very Good	II Good	IIIA Fair A	IIIB Fair B	IVA Poor A	IVB Poor B	V Very Poor			
GSI-Surface conditions		Very Good	Good	Fair	Poor	Very Poor				
GSI-Structure		Massive	Blocky	Very Blocky	Disturbed	Desintegrated				Laminated/Shear.
GEOLOGICAL STRENGTH INDEX (GSI)										
										53
										32.6
										Módulo de Young (Gpa)
DISCONTINUITY SETS										
										BLASTING INDEX
Set Nº	Type	Dip dir. (º)	Dip (º)	Length (m)	Spacing (m)	Bench face angle (º)	Parameter	Value		IB
1	D	28	82			20	RMD	40		

Fuente: Geotecnia Arasi

ANEXO: 18

BENCH DOCUMENTATION FORM														
STATION: EG-15	DOCUMENTED BY: R.I.I.S	BENCH: 4840	RQD %: 81											
DATE: 2/08/2015	STRUCT.DOMAIN	BENCH HT. (m): 8	FRICCIÓN #: 30											
BLAST ID:	ROCK/ALT. TYPE: C	RC (Mpa): 27	COHESION kpa: 200					Nº FRACT/METER: 8						
ROCK MASS RATING (R.M.R.)														
PARAMETER	VALUES								RATING					
Intact Strength (Mpa)	>250	(15)	100 - 250	(12)	50 - 100	(7)	25 - 50	(4)	<25 (2) <5 (1) <1	(0)	1			
	90 - 100	(20)	X	75 - 90	(17)	50 - 75	(13)	25 - 50	(8)	<25	(3)	2		
Joint Spacing (m)	>2	(20)		0.6 - 2	(15)	0.2 - 0.6	(10)	0.06 - 0.2	(8)	<0.06	(5)	3		
	<1m	(6)		1 - 3 m	(4)	X	3 - 10 m	(2)	10 - 20 m	(1)	>20 m	(0)	4A	
Aperture	Close	(6)		0.1 mm	(5)		0.1 - 1.0 mm	(4)	1 - 5 mm	(1)	>5 mm	(0)	4B	
	V. Rough	(6)		Rough	(5)		S. Rough	(3)	Smooth	(1)	Slickensided	(0)	4C	
Infilling	None	(6)		Hard < 5 mm	(4)		Hard > 5 mm	(2)	Soft < 5 mm	(2)	Soft > 5 mm	(0)	4D	
	None	(6)		S.Weathered	(5)		M. Weather.	(3)	V. Weather.	(2)	Decomposed	(0)	4E	
Groundwater conditions	Dry	(15)		Damp	(10)		Wet	(7)	Dripping	(4)	Flowing	(0)	5	
	X												10	
RATING TOTAL RMR (Rating sum of 1 to 5) =										50				
ROCK MASS CLASSIFICATION														
RMR	100 - 81		80 - 61		61 - 50		50 - 41		40 - 31		30 - 21		20 - 0	
DESCRIPTION	I Very Good		II Good		III Fair A		IIIB Fair B		IVA Poor A		IVB Poor B		V Very Poor	
GSI-Surface conditions			Very Good	X	Good		Fair		Poor		Very Poor			
GSI-Structure			Massive		Blocky	X	Very Blocky		Disturbed		Desintegrated		Laminated/Shear.	
GEOLOGICAL STRENGTH INDEX (GSI)										45				
													Módulo de Young (Gpa)	27.4
DISCONTINUITY SETS														
Set Nº	Type	Dip dir. (°)	Dip (°)	Length (m)	Spacing (m)	Bench face angle (°)	BENCH GEOMETRY DESIGN		BLASTING INDEX					
1	D	35	70			25	Parameter	RMD	Value	IB				
Fuente: Geotecnia Arasi										20				

ANEXO: 19

BENCH DOCUMENTATION FORM														
STATION: EG-16	DOCUMENTED BY: R.I.I.S	BENCH: 4840	RQD %: 59											
DATE: 2/08/2015	STRUCT. DOMAIN	BENCH HT. (m): 8	FRICCIÓN %: 28.5											
BLAST ID:	ROCK/ALT. TYPE: C	RC (Mpa): 27	COHESION kpa: 200					Nº FRACT/METER: 14						
ROCK MASS RATING (R.M.R.)														
PARAMETER	VALUES								RATING					
Intact Strength (Mpa)	> 250	(15)	100 - 250	(12)	50 - 100	(7)	X	25 - 50	(4)	< 25 (2) < 5 (1) < 1	(0)	1	4	
R.Q.D. %	90 - 100	(20)	75 - 90	(17)	X	50 - 75	(13)	25 - 50	(8)	< 25	(3)	2	12	
Joint Spacing (m)	> 2	(20)	0.6 - 2	(15)	X	0.2 - 0.6	(10)	0.06 - 0.2	(8)	< 0.06	(5)	3	7	
Joint Condition	X	< 1m	(6)	1 - 3 m	(4)	3 - 10 m	(2)	10 - 20 m	(1)	> 20 m	(0)	4A	6	
		Close	(6)	0.1 mm	(5)	X	0.1 - 1.0 mm	(4)	1 - 5 mm	(1)	> 5 mm	(0)	4B	3
		V. Rough	(6)	Rough	(5)		S. Rough	(3)	Smooth	(1)	Slickensided	(0)	4C	0
		None	(6)	Hard < 5 mm	(4)		Hard > 5 mm	(2)	Soft < 5 mm	(2)	Soft > 5 mm	(0)	4D	0
Weathering	X	None	(6)	S. Weathered	(5)		M. Weather.	(3)		V. Weather.	(2)	4E	5	
Groundwater conditions	X	Dry	(15)	Damp	(10)		Wet	(7)		Dripping	(4)	5	10	
RATING TOTAL RMR (Rating sum of 1 to 5) =										47				
ROCK MASS CLASSIFICATION														
RMR	100 - 81	I Very Good	80 - 61	II Good	61 - 50	III Fair A	50 - 41	IIIB Fair B	40 - 31	IVA Poor A	30 - 21	IVB Poor B	20 - 0	V Very Poor
DESCRIPTION														
GSI-Surface conditions														
GSI-Structure														
GEOLOGICAL STRENGTH INDEX (GSI)										42				
DISCONTINUITY SETS														
Set Nº	Type	Dip dir. (°)	Dip (°)	Length (m)	Spacing (m)	Bench face angle (°)	BENCH GEOMETRY DESIGN		BLASTING INDEX					
1	D						122	Parameter	Value	IB				
2								RMD	10					
								JPS	10					
Módulo de Young (Gpa)										25.9				

Fuente: Geotecnia Arasi

ANEXO: 20

BENCH DOCUMENTATION FORM											
STATION: EG-17	DOCUMENTED BY: E.H.C	BENCH: 4896	RQD %: 84								
DATE:	STRUCT.DOMAIN	BENCH HT. (m): 8	FRICCIÓN %: 38.5								
BLAST ID:	ROCK/ALT. TYPE: SCP	RC (Mpa): 112	COHESION kpa: 335					Nº FRACT/METER: 7			
ROCK MASS RATING (R.M.R.)											
PARAMETER	VALUES									RATING	
Intact Strength (Mpa)	>250	(15)	X	100 - 250	(12)		25 - 50	(4)	<25 (2) < 5 (1) <1	(0)	1
R.Q.D. %	90 - 100	(20)	X	75 - 90	(17)		25 - 50	(8)	<25	(3)	2
Joint Spacing (m)	> 2	(20)		0.6 - 2	(15)		0.06 - 0.2	(8)	<0.06	(5)	3
Joint Condition	<1m	(6)		1 - 3 m	(4)	X	10 - 20 m	(1)	>20 m	(0)	4A
	Close	(6)		0.1 mm	(5)		1 - 5 mm	(4)	>5 mm	(0)	4B
	V. Rough	(6)	X	Rough	(5)		Smooth	(1)	Slickensided	(0)	4C
	None	(6)	X	Hard < 5 mm	(4)		Soft < 5 mm	(2)	Soft > 5 mm	(0)	4D
Weathering	None	(6)	X	S. Weathered	(5)		M. Weather.	(3)	Decomposed	(0)	4E
	Dry	(15)		Damp	(10)		Wet	(7)	Flowing	(0)	5
Groundwater conditions	X										15
RATING TOTAL RMR (Srating sum of 1 to 5) = 67											
ROCK MASS CLASSIFICATION											
RMR	100 - 81	80 - 61	61 - 50	50 - 41	40 - 31	30 - 21	20 - 0				II
DESCRIPTION	I Very Good	II Good	IIIA Fair A	IIIB Fair B	IVA Poor A	IVB Poor B	V Very Poor				
GSI-Surface conditions			Very Good	Good	Fair	Poor	Very Poor				
GSI-Structure			Massive	Blocky	Very Blocky	Disturbed	Desintegrated				Laminated/Shear.
<b>GEOLOGICAL STRENGTH INDEX (GSI)</b>											<b>62</b>
Módulo de Young (Gpa)											41.5
DISCONTINUITY SETS										BLASTING INDEX	
Set Nº	Type	Dip dir. (°)	Dip (°)	Length (m)	Spacing (m)	Bench face angle (°)	BENCH GEOMETRY DESIGN		Parameter	Value	IB
1	D	180	70	10	0.2	Bench face dip. Dir (°)	RMD		20		

Fuente: Geotecnia Arasi

ANEXO: 21

BENCH DOCUMENTATION FORM									
STATION: EG-18	DOCUMENTED BY: E.H.C	BENCH: 4896	RQD %: 91						
DATE:	STRUCT.DOMAIN	BENCH HT. (m): 8	FRICCIÓN °: 40						
BLAST ID:	ROCK/ALT. TYPE: SG	RC (Mpa): 95	COHESION kpa: 350					Nº FRACT/METER: 5	

ROCK MASS RATING (R.M.R.)													
PARAMETER	VALUES									RATING			
	Intact Strength (Mpa)	> 250	(15)	100 - 250	(12)	X	50 - 100	(7)	25-50		(4)	< 25 (2) < 5 (1) < 1	(0)
R.Q.D. %	90 - 100	(20)	X	75 - 90	(17)		50 - 75	(13)	25 - 50	(8)	< 25	(3)	2
Joint Spacing (m)	> 2	(20)		0.6 - 2	(15)	X	0.2 - 0.6	(10)	0.06 - 0.2	(8)	< 0.06	(5)	3
	< 1m	(6)		1 - 3 m	(4)	X	3 - 10 m	(2)	10 - 20 m	(1)	> 20 m	(0)	4A
Joint Condition	Close	(6)		0.1 mm	(5)	X	0.1 - 1.0 mm	(4)	1 - 5 mm	(1)	> 5 mm	(0)	4B
	V. Rough	(6)	X	Rough	(5)		S. Rough	(3)	Smooth	(1)	Slickensided	(0)	4C
Infilling	None	(6)	X	Hard < 5 mm	(4)		Hard > 5 mm	(2)	Soft < 5 mm	(2)	Soft > 5 mm	(0)	4D
	None	(6)	X	S.Weathered	(5)		M. Weather.	(3)	V. Weather.	(2)	Decomposed	(0)	4E
Groundwater conditions	Dry	(15)	X	Damp	(10)		Wet	(7)	Dripping	(4)	Flowing	(0)	5
RATING TOTAL RMR (Rating sum of 1 to 5) =											70		

ROCK MASS CLASSIFICATION										
RMR	100 - 81	80 - 61	61 - 50	50 - 41	40 - 31	30 - 21	20 - 0			
DESCRIPTION	I Very Good	II Good	IIIA Fair A	IIIB Fair B	IV A Poor A	IVB Poor B	V Very Poor			
GSI-Surface conditions		Very Good	Good	Fair	Poor	Very Poor				
GSI-Structure		Massive	Blocky	Very Blocky	Disturbed	Desintegrated	Laminated/Shear.			
<b>GEOLOGICAL STRENGTH INDEX (GSI)</b>										
										65
										45.5
										Módulo de Young (Gpa)

DISCONTINUITY SETS				BENCH GEOMETRY DESIGN				BLASTING INDEX	
Set Nº	Type	Dip dir. (°)	Dip (°)	Length (m)	Spacing (m)	Bench face angle (°)	Parameter	Value	IB
1	D	114	79			Bench face dip. Dir (°)	RMD	20	

Fuente: Geotecnia Arasi

ANEXO: 22

BENCH DOCUMENTATION FORM											
STATION: EG-19	DOCUMENTED BY: E.H.C	BENCH: 4896	RQD %: 56								
DATE:	STRUCT.DOMAIN	BENCH HT. (m): 8	FRICCIÓN °: 25								
BLAST ID:	ROCK/ALT. TYPE: C	RC (Mpa): 27	COHESION kpa: 200	Nº FRACT/METER: 15							
ROCK MASS RATING (R.M.R.)											
PARAMETER	VALUES									RATING	
Intact Strength (Mpa)	>250	(15)	100 - 250	(12)	50 - 100	(7)	25 - 50	(4)	<25 (2) <5 (1) <1	(0)	1
R.Q.D. %	90 - 100	(20)	75 - 90	(17)	50 - 75	(13)	25 - 50	(8)	<25	(3)	2
Joint Spacing (m)	>2	(20)	0.6 - 2	(15)	0.2 - 0.6	(10)	0.06 - 0.2	(8)	<0.06	(5)	3
Joint Condition	<1m	(6)	1 - 3 m	(4)	3 - 10 m	(2)	10 - 20 m	(1)	>20 m	(0)	4A
	Close	(6)	0.1 mm	(5)	0.1 - 1.0 mm	(4)	1 - 5 mm	(1)	>5 mm	(0)	4B
	V. Rough	(6)	Rough	(5)	S. Rough	(3)	Smooth	(1)	Slickensided	(0)	4C
	None	(6)	Hard < 5 mm	(4)	Hard > 5 mm	(2)	Soft < 5 mm	(2)	Soft > 5 mm	(0)	4D
Weathering	None	(6)	S. Weathered	(5)	M. Weather.	(3)	V. Weather.	(2)	Decomposed	(0)	4E
	Dry	(15)	Damp	(10)	Wet	(7)	Dripping	(4)	Flowing	(0)	5
Groundwater conditions	X										12
RATING TOTAL RMR (Srating sum of 1 to 5) = 40											
ROCK MASS CLASSIFICATION										IV	
RMR	100 - 81	80 - 61	61 - 50	50 - 41	40 - 31	30 - 21	20 - 0				
DESCRIPTION	I Very Good	II Good	IIIA Fair A	IIIB Fair B	IVA Poor A	IVB Poor B	V Very Poor				
GSI-Surface conditions		Very Good	Good	Fair	Poor	Very Poor					
GSI-Structure		Massive	Blocky	Very Blocky	Disturbed	Desintegrated	Laminated/Shear.				
GEOLOGICAL STRENGTH INDEX (GSI)											35
Módulo de Young (Gpa)											22.6
DISCONTINUITY SETS										BLASTING INDEX	
Set Nº	Type	Dip dir. (°)	Dip (°)	Length (m)	Spacing (m)	Bench face angle (°)	122	Parameter	Value	IB	
1	D					Bench face dip. Dir (°)		RMD	10		

Fuente: Geotecnia Arasi

ANEXO: 23

BENCH DOCUMENTATION FORM										
STATION: EG-20	DOCUMENTED BY: E.H.C	BENCH: 4888	RQD %: 88							
DATE:	STRUCT.DOMAIN	BENCH HT. (m): 8	FRICCION %: 39.5							
BLAST ID:	ROCK/ALT. TYPE: SCP	RC (Mpa): 112	COHESION kpa: 345					Nº FRACT/METER: 6		
ROCK MASS RATING (R.M.R.)										
PARAMETER	VALUES									RATING
Intact Strength (Mpa)	>250 (15)	X	100 - 250 (12)	50 - 100 (7)	25 - 50 (4)	<25 (2) <5 (1) <1 (0)	1	10		
R.Q.D. %	90 - 100 (20)	X	75 - 90 (17)	50 - 75 (13)	25 - 50 (8)	<25 (3)	2	17		
Joint Spacing (m)	>2 (20)		0.6 - 2 (15)	X	0.2 - 0.6 (10)	0.06 - 0.2 (8)	3	10		
	<1m (6)		1 - 3 m (4)	X	3 - 10 m (2)	10 - 20 m (1)	4A	2		
Joint Condition	Close (6)		0.1 mm (5)	X	0.1 - 1.0 mm (4)	>5 mm (0)	4B	1		
	V. Rough (6)	X	Rough (5)		S. Rough (3)	Slickensided (0)	4C	5		
	None (6)	X	Hard <5 mm (4)		Hard >5 mm (2)	Soft <5 mm (0)	4D	4		
	None (6)	X	S. Weathered (5)		M. Weather. (3)	Decomposed (0)	4E	5		
Groundwater conditions	Dry (15)		Damp (10)		Wet (7)	Flowing (4)	5	15		
RATING TOTAL RMR (Srating sum of 1 to 5) = 69										
ROCK MASS CLASSIFICATION										
RMR	100 - 81	80 - 61	61 - 50	50 - 41	40 - 31	30 - 21	20 - 0			
DESCRIPTION	I Very Good	II Good	IIIA Fair A	IIIB Fair B	IVA Poor A	IVB Poor B	V Very Poor			
GSI-Surface conditions	Very Good	Massive	Blocky	Fair	Poor	Very Poor	Laminated/Shear.			
GSI-Structure	300	78	0.5	8	0.5	8	20			
GEOLOGICAL STRENGTH INDEX (GSI)										
									64	
									44.1	
DISCONTINUITY SETS										
Set Nº	Type	Dip dir. (°)	Dip (°)	Length (m)	Spacing (m)	Bench face angle (°)	BLASTING INDEX		IB	
1	D	300	78	8	0.5	8	Parameter	RMD	Value	
									20	

Fuente: Geotecnia Arasi



ANEXO: 24

BENCH DOCUMENTATION FORM													
STATION: EG-21	DOCUMENTED BY: E.H.C	BENCH: 4888	RQD %: 63										
DATE:	STRUCT.DOMAIN	BENCH HT. (m): 8	FRICCION °: 35										
BLAST ID:	ROCK/ALT. TYPE: SCP	RC (Mpa): 92	COHESION kpa: 300					Nº FRACT/METER: 13					
ROCK MASS RATING (R.M.R.)													
PARAMETER	VALUES								RATING				
Intact Strength (Mpa)	> 250	(15)	100 - 250	(12)	X	50 - 100	(7)	25-50	(4)	< 25 (2) < 5 (1) < 1	(0)	1	8
R.Q.D. %	90 - 100	(20)	75 - 90	(17)	X	50 - 75	(13)	25 - 50	(8)	< 25	(3)	2	13
Joint Spacing (m)	> 2	(20)	0.6 - 2	(15)		0.2 - 0.6	(10)	0.06 - 0.2	(8)	< 0.06	(5)	3	7
Joint Condition	< 1m	(6)	1 - 3 m	(4)	X	3 - 10 m	(2)	10 - 20 m	(1)	> 20 m	(0)	4A	2
	Close	(6)	0.1 mm	(5)		0.1 - 1.0 mm	(4)	1 - 5 mm	(1)	> 5 mm	(0)	4B	1
	V. Rough	(6)	Rough	(5)	X	S. Rough	(3)	Smooth	(1)	Slickensided	(0)	4C	5
	None	(6)	Hard < 5 mm	(4)	X	Hard > 5 mm	(2)	Soft < 5 mm	(2)	Soft > 5 mm	(0)	4D	4
Weathering	None	(6)	S. Weathered	(5)	X	M. Weather.	(3)	V. Weather.	(2)	Decomposed	(0)	4E	5
Groundwater conditions	Dry	(15)	Damp	(10)		Wet	(7)	Dripping	(4)	Flowing	(0)	5	15
RATING TOTAL RMR (Srating sum of 1 to 5) = 60										III A			
ROCK MASS CLASSIFICATION													
RMR	100 - 81	80 - 61	61 - 50	50 - 41	40 - 31	30 - 21	20 - 0						
DESCRIPTION	I Very Good	II Good	IIIA Fair A	IIIB Fair B	IV A Poor A	IVB Poor B	V Very Poor						
GSI-Surface conditions		Very Good	X	Good	Fair	Poor	Very Poor						
GSI-Structure		Massive		Blocky	X	Very Blocky	Disturbed	Desintegrated	Laminated/Shear.				
GEOLOGICAL STRENGTH INDEX (GSI)										55			
DISCONTINUITY SETS										Módulo de Young (Gpa) 34.2			
BLASTING INDEX													
BENCH GEOMETRY DESIGN										BLASTING INDEX			
Set Nº	Type	Dip dir. (°)	Dip (°)	Length (m)	Spacing (m)	Bench face angle (°)	Parameter	Value	IB				
1	D					Bench face dip. Dir (°)	RMD	10					

Fuente: Geotecnia Arasi

ANEXO: 25

BENCH DOCUMENTATION FORM												
STATION: EG-22	DOCUMENTED BY: E.H.C	BENCH: 4912	RQD %: 88									
DATE:	STRUCT. DOMAIN	BENCH HT. (m): 8	FRICCIÓN $\phi$ : 38.5									
BLAST ID:	ROCK/ALT. TYPE: SC	RC (Mpa): 65	COHESION kpa: 335						Nº FRACT./METER: 6			
ROCK MASS RATING (R.M.R.)												
PARAMETER	VALUES									RATING		
Intact Strength (Mpa)	> 250	(15)	100 - 250	(12)	X	50 - 100	(7)	25 - 50	(4)	< 25 (2) < 5 (1) < 1	(0)	1
R.Q.D. %	90 - 100	(20)	X	75 - 90	(17)	50 - 75	(13)	25 - 50	(8)	< 25	(3)	2
Joint Spacing (m)	> 2	(20)		0.6 - 2	(15)	X	0.2 - 0.6	(10)	(8)	< 0.06	(5)	3
Joint Condition	< 1m	(6)		1 - 3 m	(4)	X	3 - 10 m	(2)	(1)	> 20 m	(0)	4A
	Close	(6)		0.1 mm	(5)	X	0.1 - 1.0 mm	(4)	(1)	> 5 mm	(0)	4B
	V. Rough	(6)		Rough	(5)	X	S. Rough	(3)	(1)	Slickensided	(0)	4C
	None	(6)	X	Hard < 5 mm	(4)		Hard > 5 mm	(2)	(2)	Soft < 5 mm	(0)	4D
Weathering	None	(6)	X	S. Weathered	(5)		M. Weather.	(3)	(2)	Decomposed	(0)	4E
	Dry	(15)		Damp	(10)		Wet	(7)	(4)	Flowing	(0)	5
Groundwater conditions	X										(0)	15
RATING TOTAL RMR (Srating sum of 1 to 5) = 67												
ROCK MASS CLASSIFICATION												
RMR	100 - 81	80 - 61	61 - 50	50 - 41	40 - 31	30 - 21	20 - 0					
DESCRIPTION	I Very Good	II Good	IIIA Fair A	IIIB Fair B	IV A Poor A	IV B Poor B	V Very Poor					
GSI - Surface conditions		Very Good	Good	Fair	Poor	Very Poor						
GSI - Structure		Massive	Blocky	Very Blocky	Disturbed	Desintegrated	Laminated/Shear.					
GEOLOGICAL STRENGTH INDEX (GSI)												
DISCONTINUITY SETS												
Set Nº	Type	Dip dir. (°)	Dip (°)	Length (m)	Spacing (m)	Bench face angle (°)	BENCH GEOMETRY DESIGN		BLASTING INDEX			
1	D	340	55			Bench face dip. Dir (°)	Parameter	RMD	Value	IB		
2		220	80			Berm width (m)	JPS	20	20			
3		84	78			BENCH GEOMETRY BEFORE BLASTING		JPO	30	41.5		
Módulo de Young (Gpa)											41.5	

Fuente: Geotecnia Arasi

ANEXO: 26

BENCH DOCUMENTATION FORM										
STATION: EG-23	DOCUMENTED BY: E.H.C	BENCH: 4888	RQD %: 20							
DATE:	STRUCT.DOMAIN	BENCH HT. (m): 8	FRICCION °: 23							
BLAST ID:	ROCK/ALT. TYPE: C	RC (Mpa): 20	COHESION kpa: 180					Nº FRACT/METER: 30		
ROCK MASS RATING (R.M.R.)										
PARAMETER	VALUES								RATING	
Intact Strength (Mpa)	>250 (15)	100 - 250	(12)	50 - 100	(7)	25-50	(4)	X < 25 (2) < 5 (1) < 1	(0)	1
R.Q.D. %	90 - 100 (20)	75 - 90	(17)	50 - 75	(13)	25 - 50	(8)	X < 25	(3)	2
Joint Spacing (m)	> 2 (20)	0.6 - 2	(15)	0.2 - 0.6	(10)	0.06 - 0.2	(8)	X < 0.06	(5)	3
Joint Condition	< 1m (6)	1 - 3 m	(4)	X 3 - 10 m	(2)	10 - 20 m	(1)	> 20 m	(0)	4A
	Close (6)	0.1 mm	(5)	0.1 - 1.0 mm	(4)	1 - 5 mm	(1)	> 5 mm	(0)	4B
	V. Rough (6)	Rough	(5)	S. Rough	(3)	Smooth	(1)	Slickensided	(0)	4C
Infilling	None (6)	Hard < 5 mm	(4)	Hard > 5 mm	(2)	Soft < 5 mm	(2)	Soft > 5 mm	(0)	4D
Weathering	None (6)	S.Weathered	(5)	M. Weather.	(3)	V. Weather.	(2)	Decomposed	(0)	4E
Groundwater conditions	Dry (15)	Damp	(10)	Wet	(7)	Dripping	(4)	Flowing	(0)	5
RATING TOTAL RMR (Rating sum of 1 to 5) = 36										
ROCK MASS CLASSIFICATION										
RMR	100 - 81	80 - 61	61 - 50	50 - 41	40 - 31	30 - 21	20 - 0			
DESCRIPTION	I Very Good	II Good	IIIA Fair A	IIIB Fair B	IVA Poor A	IVB Poor B	V Very Poor			
GSI-Surface conditions		Very Good	Good	Fair	Poor	Very Poor				
GSI-Structure		Massive	Blocky	X Very Blocky	Disturbed	Desintegrated	Laminated/Shear.			
<b>GEOLOGICAL STRENGTH INDEX (GSI)</b>										
								Módulo de Young (Gpa)	20.7	
DISCONTINUITY SETS										
BENCH GEOMETRY DESIGN					BLASTING INDEX					
Set Nº	Type	Dip dir. (°)	Dip (°)	Length (m)	Spacing (m)	Bench face angle (°)	Parameter	Value	IB	
1	D					Bench face dip. Dir (°)	RMD	10		

Fuente: Geotecnia Arasi

ANEXO: 27

BENCH DOCUMENTATION FORM									
STATION: EG-24	DOCUMENTED BY: E.H.C	BENCH: 4968	RQD %: 91						
DATE:	STRUCT.DOMAIN	BENCH HT. (m): 8	FRICCION °: 37						
BLAST ID:	ROCK/ALT. TYPE: SCP	RC (Mpa): 66	COHESION kpa: 320					Nº FRACT/METER: 5	

ROCK MASS RATING (R.M.R.)												
PARAMETER	VALUES								RATING			
Intact Strength (Mpa)	>250	(15)	100 - 250	(12)	X	50 - 100	(7)	25-50	(4)	<25 (2) <5 (1) <1	(0)	1
R.Q.D. %	90 - 100	(20)	75 - 90	(17)		50 - 75	(13)	25 - 50	(8)	<25	(3)	2
Joint Spacing (m)	>2	(20)	0.6 - 2	(15)	X	0.2 - 0.6	(10)	0.06 - 0.2	(8)	<0.06	(5)	3
Joint Condition	<1m	(6)	1 - 3 m	(4)	X	3 - 10 m	(2)	10 - 20 m	(1)	>20 m	(0)	4A
	Close	(6)	0.1 mm	(5)		0.1 - 1.0 mm	(4)	1 - 5 mm	(1)	>5 mm	(0)	4B
	V. Rough	(6)	Rough	(5)	X	S. Rough	(3)	Smooth	(1)	Slickensided	(0)	4C
	None	(6)	Hard < 5 mm	(4)		Hard > 5 mm	(2)	Soft < 5 mm	(2)	Soft > 5 mm	(0)	4D
Weathering	None	(6)	S.Weathered	(5)		M. Weather.	(3)	V. Weather.	(2)	Decomposed	(0)	4E
Groundwater conditions	Dry	(15)	Damp	(10)		Wet	(7)	Dripping	(4)	Flowing	(0)	5
RATING TOTAL RMR (Rating sum of 1 to 5) =										64		

ROCK MASS CLASSIFICATION									
RMR	100 - 81	80 - 61	61 - 50	50 - 41	40 - 31	30 - 21	20 - 0		
DESCRIPTION	I Very Good	II Good	IIIA Fair A	IIIB Fair B	IV A Poor A	IVB Poor B	V Very Poor		
GSI-Surface conditions		Very Good	X	Good	Fair	Poor	Very Poor		
GSI-Structure		Massive	X	Blocky	Very Blocky	Disturbed	Desintegrated	Laminated/Shear.	
<b>GEOLOGICAL-STRENGTH INDEX (GSI)</b>									
								Módulo de Young (Gpa)	38.1

DISCONTINUITY SETS				BENCH GEOMETRY DESIGN				BLASTING INDEX	
Set Nº	Type	Dip dir. (°)	Dip (°)	Spacing (m)	Bench face angle (°)	Parameter	Value	IB	
1	D	162	73		Bench face dip. Dir (°)	RMD	20		

Fuente: Geotecnia Arasi

ANEXO: 28

BENCH DOCUMENTATION FORM												
STATION: EG-25	DOCUMENTED BY: E.H.C	BENCH: 4968	RQD %: 96									
DATE:	STRUCT.DOMAIN	BENCH HT. (m): 8	FRICCIÓN %: 41									
BLAST ID:	ROCK/ALT. TYPE: SCP	RC (Mpa): 66	COHESION kpa: 360					Nº FRACT/METER: 3				
ROCK MASS RATING (R.M.R.)												
PARAMETER	VALUES								RATING			
Intact Strength (Mpa)	> 250	(15)	100 - 250	(12)	X	50 - 100	(7)	25 - 50	(4)	<25 (2) < 5 (1) <1	(0)	1
R.Q.D. %	90 - 100	(20)	75 - 90	(17)		50 - 75	(13)	25 - 50	(8)	<25	(3)	2
Joint Spacing (m)	> 2	(20)	0.6 - 2	(15)		0.2 - 0.6	(10)	0.06 - 0.2	(8)	<0.06	(5)	3
Joint Condition	< 1m	(6)	1 - 3 m	(4)	X	3 - 10 m	(2)	10 - 20 m	(1)	> 20 m	(0)	4A
	Close	(6)	0.1 mm	(5)	X	0.1 - 1.0 mm	(4)	1 - 5 mm	(1)	> 5 mm	(0)	4B
	V. Rough	(6)	Rough	(5)	X	S. Rough	(3)	Smooth	(1)	Slickensided	(0)	4C
Infilling	None	(6)	Hard < 5 mm	(4)		Hard > 5 mm	(2)	Soft < 5 mm	(2)	Soft > 5 mm	(0)	4D
Weathering	None	(6)	S. Weathered	(5)	X	M. Weather.	(3)	V. Weather.	(2)	Decomposed	(0)	4E
Groundwater conditions	Dry	(15)	Damp	(10)		Wet	(7)	Dripping	(4)	Flowing	(0)	5
	X											15
												5
												15
												72
RATING TOTAL RMR (Rating sum of 1 to 5) =										72		
ROCK MASS CLASSIFICATION												
RMR	100 - 81	80 - 61	61 - 50	50 - 41	40 - 31	30 - 21	20 - 0					
DESCRIPTION	I Very Good	II Good	IIIA Fair A	IIIB Fair B	IV A Poor A	IVB Poor B	V Very Poor					
GSI-Surface conditions		Very Good	Good	Fair	Poor	Very Poor						
GSI-Structure		Massive	Blocky	Very Blocky	Disturbed	Desintegrated	Laminated/Shear.					
GEOLOGICAL STRENGTH INDEX (GSI)										67		
												48.3
												48.3
DISCONTINUITY SETS										BLASTING INDEX		
Set Nº	Type	Dip dir. (º)	Dip (º)	Length (m)	Spacing (m)	Bench face angle (º)	Parameter	Value	IB			
1	D	322	66			Bench face dip. Dir (º)	RMD	20				
2		330	76			Berm width (m)	JPS	20				

Fuente: Geotecnia Arasi



ANEXO: 29

BENCH DOCUMENTATION FORM													
STATION: EG-26	DOCUMENTED BY: E.H.C	BENCH: 4968	RQD %: 91										
DATE:	STRUCT.DOMAIN	BENCH HT. (m): 8	FRICCION °: 40.5										
BLAST ID:	ROCK/ALT. TYPE: SA	RC (Mpa): 90	COHESION kpa: 355					Nº FRACT/METER: 5					
ROCK MASS RATING (R.M.R.)													
PARAMETER	VALUES									RATING			
	Intact Strength (Mpa)	>250	(15)	100 - 250	(12)	X	50 - 100	(7)	25 - 50		(4)	<25 (2) <5 (1) <1	(0)
R.Q.D. %	X	(20)	75 - 90	(17)			50 - 75	(13)	25 - 50	(8)	<25	(3)	2
Joint Spacing (m)	>2	(20)	0.6 - 2	(15)	X		0.2 - 0.6	(10)	0.06 - 0.2	(8)	<0.06	(5)	3
Joint Condition	<1m	(6)	1 - 3 m	(4)	X		3 - 10 m	(2)	10 - 20 m	(1)	>20 m	(0)	4A
	Close	(6)	0.1 mm	(5)	X		0.1 - 1.0 mm	(4)	1 - 5 mm	(1)	>5 mm	(0)	4B
	V. Rough	(6)	Rough	(5)	X		S. Rough	(3)	Smooth	(1)	Slickensided	(0)	4C
	None	(6)	Hard < 5 mm	(4)			Hard > 5 mm	(2)	Soft < 5 mm	(2)	Soft > 5 mm	(0)	4D
Weathering	None	(6)	S. Weathered	(5)			M. Weather.	(3)	V. Weather.	(2)	Decomposed	(0)	4E
	Dry	(15)	Damp	(10)			Wet	(7)	Dripping	(4)	Flowing	(0)	5
Groundwater conditions	X											(0)	15
RATING TOTAL RMR (Srating sum of 1 to 5) =										71			
ROCK MASS CLASSIFICATION													
RMR	100 - 81	80 - 61	61 - 50	50 - 41	40 - 31	30 - 21	20 - 0						
DESCRIPTION	I Very Good	II Good	IIIA Fair A	IIIB Fair B	IVA Poor A	IVB Poor B	V Very Poor						
GSI-Surface conditions		Very Good	X	Good	Fair	Poor	Very Poor						
GSI-Structure		Massive	X	Blocky	Very Blocky	Disturbed	Desintegrated						Laminated/Shear.
<b>GEOLOGICAL STRENGTH INDEX (GSI)</b>										<b>66</b>			
Módulo de Young (Gpa)										46.9			
DISCONTINUITY SETS													
BENCH GEOMETRY DESIGN					BLASTING INDEX								
Set Nº	Type	Dip dir. (°)	Dip (°)	Spacing (m)	Bench face angle (°)	Parameter	Value						
1	D	331	84		Bench face dip. Dir (°)	RMD	20						IB

Fuente: Geotecnia Arasi

ANEXO: 30

BENCH DOCUMENTATION FORM												
STATION: EG-27	DOCUMENTED BY: R.I.I.S	BENCH: 4960	RQD %: 77									
DATE:	STRUCT.DOMAIN	BENCH HT. (m): 8	FRICCIÓN °: 37									
BLAST ID:	ROCK/ALT. TYPE: RF	RC (Mpa): 88	COHESION kpa: 320					Nº FRACT/METER: 9				
ROCK MASS RATING (R.M.R.)												
PARAMETER	VALUES								RATING			
Intact Strength (Mpa)	> 250	(15)	100 - 250	(12)	X	50 - 100	(7)	25 - 50	(4)	< 25 (2) < 5 (1) < 1 (0)	1	
R.Q.D. %	90 - 100	(20)	X	75 - 90	(17)		50 - 75	(13)	25 - 50	(8)	2	
Joint Spacing (m)	> 2	(20)		0.6 - 2	(15)		0.2 - 0.6	(10)	X	0.06 - 0.2	3	
Joint Condition	< 1m	(6)	X	1 - 3 m	(4)		3 - 10 m	(2)		10 - 20 m	4A	
	Close	(6)		0.1 mm	(5)	X	0.1 - 1.0 mm	(4)		1 - 5 mm	4B	
	V. Rough	(6)		Rough	(5)	X	S. Rough	(3)		Smooth	4C	
	None	(6)		Hard < 5 mm	(4)		Hard > 5 mm	(2)	X	Soft < 5 mm	4D	
Weathering	None	(6)	X	S. Weathered	(5)		M. Weather.	(3)		V. Weather.	4E	
Groundwater conditions	Dry	(15)		Damp	(10)		Wet	(7)		Dripping	5	
										Flowing	15	
											64	
ROCK MASS CLASSIFICATION												
RMR	100 - 81		80 - 61		61 - 50		50 - 41		40 - 31		30 - 21	20 - 0
DESCRIPTION	I Very Good		II Good		III Fair A		IIIB Fair B		IVA Poor A		IVB Poor B	V Very Poor
GSI-Surface conditions			Very Good		X	Good	Fair		Poor		Very Poor	
GSI-Structure			Massive		X	Blocky	Very Blocky		Disturbed		Desintegrated	Laminated/Shear.
GEOLOGICAL STRENGTH INDEX (GSI)												
												59
												38.1
DISCONTINUITY SETS										BLASTING INDEX		
Set Nº	Type	Dip dir. (°)	Dip (°)	Length (m)	Spacing (m)	Bench face angle (°)	BENCH GEOMETRY DESIGN		Parameter	Value	IB	
1	D	331	84						RMD	20		

Fuente: Geotecnia Arasi

ANEXO: 31

BENCH DOCUMENTATION FORM											
STATION: EG-28	DOCUMENTED BY: R.I.I.S	BENCH: 4960	RQD %: 91								
DATE:	STRUCT.DOMAIN	BENCH HT. (m): 8	FRICCIÓN %: 40								
BLAST ID:	ROCK/ALT. TYPE: RF	RC (Mpa): 88	COHESION kpa: 350					Nº FRACT/METER: 5			
ROCK MASS RATING (R.M.R.)											
PARAMETER	VALUES								RATING		
Intact Strength (Mpa)	> 250	(15)	100 - 250	(12)	X	50 - 100	(7)	25 - 50	(4)	< 25 (2) < 5 (1) < 1 (0)	1
R.Q.D. %	90 - 100	(20)	75 - 90	(17)		50 - 75	(13)	25 - 50	(8)	< 25	2
Joint Spacing (m)	> 2	(20)	0.6 - 2	(15)		0.2 - 0.6	(10)	X	0.06 - 0.2 (8)	< 0.06	3
Joint Condition	< 1m	(6)	1 - 3 m	(4)	X	3 - 10 m	(2)		10 - 20 m (1)	> 20 m	4A
	Close	(6)	0.1 mm	(5)	X	0.1 - 1.0 mm	(4)		1 - 5 mm (1)	> 5 mm	4B
	V. Rough	(6)	Rough	(5)	X	S. Rough	(3)		Smooth (1)	Slickensided (0)	4C
	None	(6)	Hard < 5 mm	(4)		Hard > 5 mm	(2)		Soft < 5 mm (2)	Soft > 5 mm (0)	4D
Weathering	None	(6)	S.Weathered	(5)	X	M. Weather.	(3)		V. Weather. (2)	Decomposed (0)	4E
Groundwater conditions	Dry	(15)	Damp	(10)		Wet	(7)		Dripping (4)	Flowing (0)	5
											15
											70
RATING TOTAL RMR (Rating sum of 1 to 5) =										70	
ROCK MASS CLASSIFICATION											
RMR	100 - 81	80 - 61	61 - 50	50 - 41	40 - 31	30 - 21	20 - 0				
DESCRIPTION	I Very Good	II Good	IIIA Fair A	IIIB Fair B	IVA Poor A	IVB Poor B	V Very Poor				
GSI-Surface conditions		Very Good	X	Good		Poor				Very Poor	
GSI-Structure		Massive	X	Blocky		Disturbed				Desintegrated	Laminated/Shear.
GEOLOGICAL STRENGTH INDEX (GSI)										65	
										Módulo de Young (Gpa)	45.5
DISCONTINUITY SETS											
BENCH GEOMETRY DESIGN											
Set Nº	Type	Dip dir. (°)	Dip (°)	Length (m)	Spacing (m)	Bench face angle (°)	Parameter	Value			IB
1	D	225	81			Bench face dip. Dir (°)	RMD	20			
2		149	85			Berm width (m)	JPS	20			

Fuente: Geotecnia Arasi



ANEXO: 32

BENCH DOCUMENTATION FORM																
STATION: EG-29	DOCUMENTED BY: R.I.I.S	BENCH: 4960	RQD %: 59													
DATE:	STRUCT.DOMAIN	BENCH HT. (m): 8	FRICCIÓN #: 36.5													
BLAST ID:	ROCK/ALT. TYPE: RF	RC (Mpa): 158	COHESION kpa: 315	Nº FRACT/METER: 14												
ROCK MASS RATING (R.M.R.)																
PARAMETER	VALUES								RATING							
Intact Strength (Mpa)	> 250	(15)	X	100 - 250	(12)	50 - 100	(7)	25 - 50	(4)	<25 (2) <5 (1) <1	(0)	1	11			
R.Q.D. %	90 - 100	(20)		75 - 90	(17)	X	50 - 75	(13)	25 - 50	(8)	<25	(3)	2	12		
Joint Spacing (m)	> 2	(20)		0.6 - 2	(15)		0.2 - 0.6	(10)	X	0.06 - 0.2	(8)	<0.06	(5)	3	8	
Persistence	<1m	(6)		1 - 3 m	(4)	X	3 - 10 m	(2)		10 - 20 m	(1)	>20 m	(0)	4A	2	
Aperture	Close	(6)		0.1 mm	(5)		0.1 - 1.0 mm	(4)	X	1 - 5 mm	(1)	>5 mm	(0)	4B	1	
Roughness	V. Rough	(6)		Rough	(5)	X	S. Rough	(3)		Smooth	(1)	Slickensided	(0)	4C	3	
Infilling	None	(6)	X	Hard < 5 mm	(4)		Hard > 5 mm	(2)		Soft < 5 mm	(2)	Soft > 5 mm	(0)	4D	6	
Weathering	None	(6)	X	S. Weathered	(5)		M. Weather.	(3)		V. Weather.	(2)	Decomposed	(0)	4E	5	
Groundwater conditions	Dry	(15)	X	Damp	(10)		Wet	(7)		Dripping	(4)	Flowing	(0)	5	15	
RATING TOTAL RMR (Rating sum of 1 to 5) =										63						
ROCK MASS CLASSIFICATION																
RMR	100 - 81	80 - 61	61 - 50	50 - 41	40 - 31	30 - 21	20 - 0									
DESCRIPTION	I Very Good	II Good	IIIA Fair A	IIIB Fair B	IVA Poor A	IVB Poor B	V Very Poor									
GSI-Surface conditions	Very Good		Good	Fair	Poor	Very Poor										
GSI-Structure	Massive		Blocky	Very Blocky	Disturbed	Desintegrated	Laminated/Shear.									
<b>GEOLOGICAL STRENGTH INDEX (GSI)</b>										58						
										Módulo de Young (Gpa)					37.0	
DISCONTINUITY SETS										BENCH GEOMETRY DESIGN					BLASTING INDEX	
Set Nº	Type	Dip dir. (°)	Dip (°)	Length (m)	Spacing (m)	Bench face angle (°)	Parameter	Value								
1	D	233	83			Bench face dip. Dir (°)	RMD	20								

Fuente: Geotecnia Arasi

ANEXO: 33

BENCH DOCUMENTATION FORM											
STATION: EG-30	DOCUMENTED BY: R.I.I.S	BENCH: 4920	RQD %: 66								
DATE:	STRUCT. DOMAIN	BENCH HT. (m): 8	FRICCIÓN ø: 36.5								
BLAST ID:	ROCK/ALT. TYPE: SA	RC (Mpa): 65	COHESION kpa: 315							Nº FRACT/METER: 12	

ROCK MASS RATING (R.M.R.)													
PARAMETER	VALUES										RATING		
	Intact Strength (Mpa)	>250	(15)	100 - 250	(12)	X	50 - 100	(7)	25 - 50	(4)		< 25 (2) < 5 (1) < 1	(0)
R.Q.D. %	90 - 100	(20)	75 - 90	(17)	X	50 - 75	(13)	25 - 50	(8)	< 25	(3)	2	
Joint Spacing (m)	> 2	(20)	0.6 - 2	(15)		0.2 - 0.6	(10)	X	0.06 - 0.2	(8)	< 0.06	3	
Joint Condition	Persistence	< 1m	(6)	X	1 - 3 m	(4)		3 - 10 m	(2)	10 - 20 m	(1)	> 20 m	4A
	Aperture	Close	(6)		0.1 mm	(5)	X	0.1 - 1.0 mm	(4)	1 - 5 mm	(1)	> 5 mm	4B
	Roughness	V. Rough	(6)		Rough	(5)	X	S. Rough	(3)	Smooth	(1)	Slickensided	4C
	Infilling	None	(6)	X	Hard < 5 mm	(4)		Hard > 5 mm	(2)	Soft < 5 mm	(2)	Soft > 5 mm	4D
Groundwater conditions	Weathering	None	(6)	X	S. Weathered	(5)		M. Weather.	(3)	V. Weather.	(2)	Decomposed	4E
		Dry	(15)		Damp	(10)		Wet	(7)	Dripping	(4)	Flowing	5
RATING TOTAL RMR (Rating sum of 1 to 5) = 63													

ROCK MASS CLASSIFICATION											
RMR	100 - 81	80 - 61	61 - 50	50 - 41	40 - 31	30 - 21	20 - 0				
DESCRIPTION	I Very Good	II Good	IIIA Fair A	IIIB Fair B	IV A Poor A	IVB Poor B	V Very Poor				
GSI-Surface conditions		Very Good	Good	Fair	Poor	Very Poor					
GSI-Structure		Massive	Blocky	Very Blocky	Disturbed	Desintegrated	Laminated/Shear.				
GEOLOGICAL STRENGTH INDEX (GSI) 58											
RATING TOTAL RMR (Rating sum of 1 to 5) = 37.0											

DISCONTINUITY SETS											
Set Nº	Type	Dip dir. (º)	Dip (º)	Length (m)	Spacing (m)	BENCH GEOMETRY DESIGN		BLASTING INDEX		Value	IB
						Bench face angle (º)	Parameter	RMD	JPS		
1	D	349	56							20	
2		217	80							20	
3		43	78							20	
BENCH GEOMETRY BEFORE BLASTING											

Fuente: Geotecnia Arasi

ANEXO: 34

BENCH DOCUMENTATION FORM									
STATION: EG-31	DOCUMENTED BY: R.I.I.S	BENCH: 4920	RQD %: 56						
DATE:	STRUCT.DOMAIN	BENCH HT. (m): 8	FRICCION °: 31						
BLAST ID:	ROCK/ALT. TYPE: CP	RC (Mpa): 65	COHESION kpa: 260					Nº FRACT/METER: 15	
ROCK MASS RATING (R.M.R.)									
PARAMETER	VALUES								RATING
Intact Strength (Mpa)	> 250 (15)	100 - 250 (12)	50 - 100 (7)	25 - 50 (4)	< 25 (2) < 5 (1) < 1 (0)				1
R.Q.D. %	90 - 100 (20)	75 - 90 (17)	50 - 75 (13)	25 - 50 (8)	< 25 (3)				2
Joint Spacing (m)	> 2 (20)	0.6 - 2 (15)	0.2 - 0.6 (10)	0.06 - 0.2 (8)	< 0.06 (5)				3
Joint Condition	Persistence	< 1m (6)	1 - 3 m (4)	3 - 10 m (2)	10 - 20 m (1)	> 20 m (0)			4A
	Aperture	Close (6)	0.1 mm (5)	0.1 - 1.0 mm (4)	1 - 5 mm (1)	> 5 mm (0)			4B
	Roughness	V. Rough (6)	Rough (5)	S. Rough (3)	Smooth (1)	Slickensided (0)			4C
	Infilling	None (6)	Hard < 5 mm (4)	Hard > 5 mm (2)	Soft < 5 mm (2)	Soft > 5 mm (0)			4D
	Weathering	None (6)	S. Weathered (5)	M. Weather. (3)	V. Weather. (2)	Decomposed (0)			4E
Groundwater conditions	Dry (15)	Damp (10)	Wet (7)	Dripping (4)	Flowing (0)				5
RATING TOTAL RMR (Srating sum of 1 to 5) = 52									
ROCK MASS CLASSIFICATION									
RMR	100 - 81	80 - 61	61 - 50	50 - 41	40 - 31	30 - 21	20 - 0		
DESCRIPTION	I Very Good	II Good	IIIA Fair A	IIIB Fair B	IV A Poor A	IV B Poor B	V Very Poor		IIIA
GSI-Surface conditions		Very Good	Good	Fair	Poor	Very Poor			
GSI-Structure		Massive	Blocky	Very Blocky	Disturbed	Desintegrated			Laminated/Shear.
GEOLOGICAL STRENGTH INDEX (GSI)									
								Módulo de Young (Gpa)	28.6
DISCONTINUITY SETS									
BENCH GEOMETRY DESIGN					BLASTING INDEX				
Set Nº	Type	Dip dir. (°)	Dip (°)	Spacing (m)	Bench face angle (°)	Parameter	Value		IB
1	D	154	74		Bench face dip. Dir (°)	RMD	10		

Fuente: Geotecnia Arasi



ANEXO: 36

BENCH DOCUMENTATION FORM												
STATION: EG-33	DOCUMENTED BY: E.H.C	BENCH: 4936	RQD %: 88									
DATE:	STRUCT.DOMAIN	BENCH HT. (m): 8	FRICCION °: 42									
BLAST ID:	ROCK/ALT. TYPE: SA	RC (Mpa): 70.2	COHESION kpa: 370					Nº FRACT/METER: 6				
ROCK MASS RATING (R.M.R.)												
PARAMETER	VALUES								RATING			
Intact Strength (Mpa)	> 250	(15)	100 - 250	(12)	X	50 - 100	(7)	25-50	(4)	< 25(2) < 5 (1) < 1	(0)	1
R.Q.D. %	90 - 100	(20)	X	75 - 90	(17)		50 - 75	(13)	25 - 50	(8)	(3)	2
Joint Spacing (m)	> 2	(20)	X	0.6 - 2	(15)		0.2 - 0.6	(10)	0.06 - 0.2	(8)	(5)	3
Joint Condition	< 1m	(6)		1 - 3 m	(4)	X	3 - 10 m	(2)	10 - 20 m	(1)	(0)	4A
	Close	(6)		0.1 mm	(5)	X	0.1 - 1.0 mm	(4)	1 - 5 mm	(1)	(0)	4B
	V. Rough	(6)	X	Rough	(5)		S. Rough	(3)	Smooth	(1)	(0)	4C
	None	(6)	X	Hard < 5 mm	(4)		Hard > 5 mm	(2)	Soft < 5 mm	(2)	(0)	4D
Weathering	None	(6)	X	S.Weathered	(5)		M. Weather.	(3)	V. Weather.	(2)	(0)	4E
Groundwater conditions	Dry	(15)		Damp	(10)		Wet	(7)	Dripping	(4)	(0)	5
	X											15
RATING TOTAL RMR (Sra ting sum of 1 to 5) =										74		
ROCK MASS CLASSIFICATION												
RMR	100 - 81	80 - 61	61 - 50	50 - 41	40 - 31	30 - 21	20 - 0				II	
DESCRIPTION	I Very Good	II Good	IIIA Fair A	IIIB Fair B	IV A Poor A	IVB Poor B	V Very Poor					
GSI-Surface conditions		Very Good	X	Good		Fair	Poor				Very Poor	
GSI-Structure		Massive	X	Blocky		Very Blocky	Disturbed				Desintegrated	
GEOLOGICAL STRENGTH INDEX (GSI)										69		
DISCONTINUITY SETS										Módulo de Young (Gpa)	51.4	
BLASTING INDEX												
BENCH GEOMETRY DESIGN												
Set N°	Type	Dip dir. (°)	Dip (°)	Length (m)	Spacing (m)	Bench face angle (°)	Parameter	Value			IB	
1	D	16	85			Bench face dip. Dir (°)	RMD	20				

Fuente: Geotecnia Arasi

ANEXO: 37

BENCH DOCUMENTATION FORM									
STATION: EG-34	DOCUMENTED BY: R.I.I.S	BENCH: 4936	RQD %: 94						
DATE:	STRUCT.DOMAIN	BENCH HT. (m): 8	FRICCION %: 39						
BLAST ID:	ROCK/ALT. TYPE: SCP	RC (Mpa): 63	COHESION kpa: 340					Nº FRACT/METER: 4	
ROCK MASS RATING (R.M.R.)									
PARAMETER	VALUES								RATING
Intact Strength (Mpa)	>250 (15)	100 -250	50 - 100 (12)	X	25-50 (7)	< 25 (2) < 5 (1) < 1 (0)	(4)		1
R.Q.D. %	90 - 100 (20)	75 - 90	50 - 75 (17)		25 - 50 (13)	< 25 (3)	(8)		2
Joint Spacing (m)	> 2 (20)	0.6 - 2	0.2 - 0.6 (15)	X	0.06 - 0.2 (10)	< 0.06 (5)	(8)		3
Joint Condition	< 1m (6)	1 - 3 m	3 - 10 m (4)	X	10 - 20 m (2)	> 20 m (0)	(1)		4A
	Close (6)	0.1 mm	0.1 - 1.0 mm (5)		1 - 5 mm (4)	> 5 mm (0)	(1)		4B
	V. Rough (6)	Rough	S. Rough (5)	X	Smooth (3)	Slickensided (0)	(1)		4C
Infilling	None (6)	Hard < 5 mm	(4)		Soft < 5 mm (2)	Soft > 5 mm (0)	(2)		4D
	None (6)	S.Weathered	(5)		M. Weather. (3)	Decomposed (0)	(2)		4E
Groundwater conditions	Dry (15)	Damp	(10)		Wet (7)	Flowing (0)	(4)		5
RATING TOTAL RMR (Rating sum of 1 to 5) = 68									
ROCK MASS CLASSIFICATION									
RMR	100 - 81	80 - 61	61 - 50	50 - 41	40 - 31	30 - 21	20 - 0		
DESCRIPTION	I Very Good	II Good	IIIA Fair A	IIIB Fair B	IV A Poor A	IV B Poor B	V Very Poor		
GSI-Surface conditions		Very Good	Good	Fair	Poor	Very Poor			
GSI-Structure		Massive	Blocky	Very Blocky	Disturbed	Desintegrated			Laminated/Shear.
<b>GEOLOGICAL STRENGTH INDEX (GSI)</b>									
									<b>63</b>
									42.8
									Módulo de Young (Gpa)
DISCONTINUITY SETS									
BENCH GEOMETRY DESIGN					BLASTING INDEX				
Set Nº	Type	Dip dir. (º)	Dip (º)	Spacing (m)	Bench face angle (º)	Parameter	Value	IB	
1	D	215	83		Bench face dip. Dir (º)	RMD	20		

Fuente: Geotecnia Arasi

ANEXO: 38

BENCH DOCUMENTATION FORM												
STATION: EG-35	DOCUMENTED BY: R.I.I.S	BENCH: 4936	RQD %: 59									
DATE:	STRUCT.DOMAIN	BENCH HT. (m): 8	FRICCION °: 34									
BLAST ID:	ROCK/ALT. TYPE: SCP	RC (Mpa): 63	COHESION kpa: 290					Nº FRACT/METER: 14				
ROCK MASS RATING (R.M.R.)												
PARAMETER	VALUES								RATING			
Intact Strength (Mpa)	>250	(15)	100 - 250	(12)	X	50 - 100	(7)	25 - 50	(4)	<25 (2) <5 (1) <1	(0)	1
R.Q.D. %	90 - 100	(20)	75 - 90	(17)	X	50 - 75	(13)	25 - 50	(8)	<25	(3)	2
Joint Spacing (m)	>2	(20)	0.6 - 2	(15)		0.2 - 0.6	(10)	X	0.06 - 0.2	<0.06	(5)	3
Persistence	<1m	(6)	1 - 3 m	(4)		3 - 10 m	(2)		10 - 20 m	>20 m	(0)	4A
	Close	(6)	0.1 mm	(5)		0.1 - 1.0 mm	(4)	X	1 - 5 mm	>5 mm	(0)	4B
Joint Condition	V. Rough	(6)	Rough	(5)	X	S. Rough	(3)		Smooth	Slickensided	(0)	4C
	None	(6)	Hard < 5 mm	(4)		Hard > 5 mm	(2)	X	Soft < 5 mm	Soft > 5 mm	(0)	4D
Weathering	None	(6)	S. Weathered	(5)		M. Weather.	(3)		V. Weather.	Decomposed	(0)	4E
	Dry	(15)	Damp	(10)		Wet	(7)		Dripping	Flowing	(4)	5
Groundwater conditions	X										(0)	15
RATING TOTAL RMR (Srating sum of 1 to 5) =										58		
ROCK MASS CLASSIFICATION												
RMR	100 - 81	80 - 61	61 - 50	50 - 41	40 - 31	30 - 21	20 - 0					
DESCRIPTION	I Very Good	II Good	IIIA Fair A	IIIB Fair B	IV A Poor A	IVB Poor B	V Very Poor					
GSI-Surface conditions		Very Good	X	Good		Fair		Poor		Very Poor		
GSI-Structure		Massive	X	Blocky		Very Blocky		Disturbed		Desintegrated		Laminated/Shear.
GEOLOGICAL STRENGTH INDEX (GSI)										53		
DISCONTINUITY SETS										Módulo de Young (Gpa)	32.6	
Set Nº	Type	Dip dir. (°)	Dip (°)	Length (m)	Spacing (m)	Bench face angle (°)	BLASTING INDEX		Parameter	Value		
1	D	174	86			Bench face dip. Dir (°)	RMD		20	IB		
2		88	90			Berm width (m)	JPS		20			

Fuente: Geotecnia Arasi

ANEXO: 39

BENCH DOCUMENTATION FORM											
STATION: EG-36	DOCUMENTED BY: R.I.I.S	BENCH: 4888	RQD %: 88								
DATE:	STRUCT.DOMAIN	BENCH HT. (m): 8	FRICCIÓN °: 39.5								
BLAST ID:	ROCK/ALT. TYPE: SA	RC (Mpa): 62.9	COHESION kpa: 345					Nº FRACT/METER: 6			
ROCK MASS RATING (R.M.R.)											
PARAMETER	VALUES									RATING	
Intact Strength (Mpa)	> 250	(15)	100 - 250	(12)	X	50 - 100	(7)	25 - 50	(4)	< 25 (2) < 5 (1) < 1 (0)	1
R.Q.D. %	90 - 100	(20)	75 - 90	(17)	X	50 - 75	(13)	25 - 50	(8)	< 25 (3)	2
Joint Spacing (m)	> 2	(20)	0.6 - 2	(15)	X	0.2 - 0.6	(10)	0.06 - 0.2	(8)	< 0.06 (5)	3
Joint Condition	< 1m	(6)	1 - 3 m	(4)	X	3 - 10 m	(2)	10 - 20 m	(1)	> 20 m (0)	4A
	Close	(6)	0.1 mm	(5)	X	0.1 - 1.0 mm	(4)	1 - 5 mm	(1)	> 5 mm (0)	4B
	V. Rough	(6)	Rough	(5)	X	S. Rough	(3)	Smooth	(1)	Slickensided (0)	4C
	None	(6)	Hard < 5 mm	(4)		Hard > 5 mm	(2)	Soft < 5 mm	(2)	Soft > 5 mm (0)	4D
Weathering	None	(6)	S. Weathered	(5)		M. Weather.	(3)	V. Weather.	(2)	Decomposed (0)	4E
Groundwater conditions	Dry	(15)	Damp	(10)		Wet	(7)	Dripping	(4)	Flowing (0)	5
RATING TOTAL RMR (Rating sum of 1 to 5) = 69										69	
ROCK MASS CLASSIFICATION											
RMR	100 - 81	80 - 61	61 - 50	50 - 41	40 - 31	30 - 21	20 - 0				
DESCRIPTION	I Very Good	II Good	IIIA Fair A	IIIB Fair B	IV A Poor A	IV B Poor B	V Very Poor				
GSI-Surface conditions		Very Good	X	Good		Fair		Poor		Very Poor	
GSI-Structure		Massive	X	Blocky		Very Blocky		Disturbed		Desintegrated	Laminated/Shear.
<b>GEOLOGICAL STRENGTH INDEX (GSI)</b>										<b>64</b>	
										44.1	
										44.1	
DISCONTINUITY SETS										BLASTING INDEX	
Set Nº	Type	Dip dir. (°)	Dip (°)	Length (m)	Spacing (m)	Bench face angle (°)	Parameter	Value			
1	D	174	79				RMD	20			
2		264	81				JPS	20			
Módulo de Young (Gpa)										44.1	

Fuente: Geotecnia Arasi



ANEXO: 40

BENCH DOCUMENTATION FORM											
STATION: EG-37	DOCUMENTED BY: R.I.I.S	BENCH: 4888	RQD %: 81								
DATE:	STRUCT. DOMAIN	BENCH HT. (m): 8	FRICCIÓN ø: 39.5								
BLAST ID:	ROCK/ALT. TYPE: SCP	RC (Mpa): 100	COHESION kpa: 345						Nº FRACT/METER: 8		
ROCK MASS RATING (R.M.R.)											
PARAMETER	VALUES								RATING		
Intact Strength (Mpa)	> 250	(15)	100 - 250	(12)	X	50 - 100	(7)	25 - 50	(4)	< 25 (2) < 5 (1) < 1 (0)	1
R.Q.D. %	90 - 100	(20)	75 - 90	(17)	X	50 - 75	(13)	25 - 50	(8)	< 25 (3)	2
Joint Spacing (m)	> 2	(20)	0.6 - 2	(15)	X	0.2 - 0.6	(10)	0.06 - 0.2	(8)	< 0.06 (5)	3
Joint Condition	persistence	< 1m	1 - 3 m	(6)	X	3 - 10 m	(2)	10 - 20 m	(1)	> 20 m (0)	4A
	Aperture	Close	0.1 mm	(6)	X	0.1 - 1.0 mm	(4)	1 - 5 mm	(1)	> 5 mm (0)	4B
	Roughness	V. Rough	Rough	(6)	X	S. Rough	(3)	Smooth	(1)	Slickensided (0)	4C
	Infilling	None	Hard < 5 mm	(6)	X	Hard > 5 mm	(2)	Soft < 5 mm	(2)	Soft > 5 mm (0)	4D
Weathering	X	None	S. Weathered	(6)		M. Weather.	(3)	V. Weather.	(2)	Decomposed (0)	4E
Groundwater conditions	X	Dry	Damp	(15)		Wet	(7)	Dripping	(4)	Flowing (0)	5
RATING TOTAL RMR (Rating sum of 1 to 5) = 69											
ROCK MASS CLASSIFICATION											
RMR	100 - 81	80 - 61	61 - 50	50 - 41	40 - 31	30 - 21	20 - 0				
DESCRIPTION	I Very Good	II Good	IIIA Fair A	IIIB Fair B	IV A Poor A	IVB Poor B	V Very Poor				
GSI-Surface conditions		Very Good	Good	Fair	Poor	Very Poor					
GSI-Structure		Massive	Blocky	Very Blocky	Disturbed	Desintegrated	Laminated/Shear.				
<b>GEOLOGICAL STRENGTH INDEX (GSI)</b>											
64											
Módulo de Young (Gpa) 44.1											
DISCONTINUITY SETS											
Set Nº	Type	Dip dir. (°)	Dip (°)	Length (m)	Spacing (m)	Bench face angle (°)	Parameter	Value	BLASTING INDEX		
1	D	155	75				RMD	25			
2		217	87				JPS	20			
3		160	83				JPO	30	45.125		

Fuente: Geotecnia Arasi



BENCH DOCUMENTATION FORM										
STATION: EG-38	DOCUMENTED BY: R.I.I.S	BENCH: 4888	RQD %: 74							
DATE:	STRUCT. DOMAIN	BENCH HT. (m): 8	FRICCIÓN ø: 33.5							
BLAST ID:	ROCK/ALT. TYPE: RF	RC (Mpa): 47	COHESION kpa: 285					Nº FRACT/METER: 10		
ROCK MASS RATING (R.M.R.)										
PARAMETER	VALUES								RATING	
Intact Strength (Mpa)	>250	(15)	100 - 250	(12)	50 - 100	(7)	X 25 - 50	(4)	<25 (2) <5 (1) <1 (0)	1 4
R.Q.D. %	90 - 100	(20)	75 - 90	(17)	50 - 75	(13)	X 25 - 50	(8)	<25 (3)	2 8
Joint Spacing (m)	> 2	(20)	0.6 - 2	(15)	0.2 - 0.6	(10)	0.06 - 0.2	(8)	<0.06 (5)	3 10
Joint Condition	<1m	(6)	X 1 - 3 m	(4)	3 - 10 m	(2)	10 - 20 m	(1)	>20 m (0)	4A 4
	Close	(6)	X 0.1 mm	(5)	0.1 - 1.0 mm	(4)	1 - 5 mm	(1)	>5 mm (0)	4B 5
	V. Rough	(6)	Rough	(5)	S. Rough	(3)	Smooth	(1)	Slickensided (0)	4C 3
	None	(6)	Hard < 5 mm	(4)	Hard > 5 mm	(2)	Soft < 5 mm	(2)	Soft > 5 mm (0)	4D 2
Weathering	X None	(6)	S. Weathered	(5)	M. Weather.	(3)	V. Weather.	(2)	Decomposed (0)	4E 6
Groundwater conditions	X Dry	(15)	Damp	(10)	Wet	(7)	Dripping	(4)	Flowing (0)	5 15
RATING TOTAL RMR (Srating sum of 1 to 5) = 57										
ROCK MASS CLASSIFICATION										
RMR	100 - 81	80 - 61	61 - 50	50 - 41	40 - 31	30 - 21	20 - 0			
DESCRIPTION	I Very Good	II Good	IIIA Fair A	IIIB Fair B	IVA Poor A	IVB Poor B	V Very Poor	III A		
GSI-Surface conditions		Very Good	X Good	Fair	Poor	Very Poor				
GSI-Structure		Massive	X Blocky	Very Blocky	Disturbed	Des integrated		Laminated/Shear.		
GEOLOGICAL STRENGTH INDEX (GSI) 52										
Módulo de Young (Gpa) 31.8										
DISCONTINUITY SETS										
Set Nº	Type	Dip dir. (°)	Dip (°)	Length (m)	Spacing (m)	BENCH GEOMETRY DESIGN		BLASTING INDEX		
1	D	155	75			Bench face angle (°)	Parameter	Value	IB	
2		217	87			Bench face dip. Dir (°)	RMD	15		
3		160	83			Berm width (m)	JPS	10		
							BENCH GEOMETRY BEFORE BLASTING	JPO	20	
32.543										

Fuente: Geotecnia Arasi

ANEXO: 42

BENCH DOCUMENTATION FORM												
STATION: EG-39	DOCUMENTED BY: R.I.I.S	BENCH: 4808	RQD %: 84									
DATE:	STRUCT. DOMAIN	BENCH HT. (m): 8	FRICCIÓN ø: 38									
BLAST ID:	ROCK/ALT. TYPE: SG	RC (Mpa): 64.3	COHESION kpa: 330					Nº FRACT/METER: 7				
ROCK MASS RATING (R.M.R.)												
PARAMETER	VALUES								RATING			
Intact Strength (Mpa)	>250	(15)	100 - 250	(12)	X	50 - 100	(7)	25 - 50	(4)	<25 (2) <5 (1) <1	(0)	1
R.Q.D. %	90 - 100	(20)	X	75 - 90	(17)	50 - 75	(13)	25 - 50	(8)	<25	(3)	2
Joint Spacing (m)	> 2	(20)	0.6 - 2	(15)	X	0.2 - 0.6	(10)	0.06 - 0.2	(8)	<0.06	(5)	3
Joint Condition	<1m	(6)	1 - 3 m	(4)	X	3 - 10 m	(2)	10 - 20 m	(1)	> 20 m	(0)	4A
	Close	(6)	0.1 mm	(5)		0.1 - 1.0 mm	(4)	X	1 - 5 mm	> 5 mm	(0)	4B
	V. Rough	(6)	Rough	(5)	X	S. Rough	(3)	Smooth	(1)	Slickensided	(0)	4C
	None	(6)	Hard < 5 mm	(4)	X	Hard > 5 mm	(2)	Soft < 5 mm	(2)	Soft > 5 mm	(0)	4D
Weathering	None	(6)	S. Weathered	(5)	X	M. Weather.	(3)	V. Weather.	(2)	Decomposed	(0)	4E
	Dry	(15)	Damp	(10)		Wet	(7)	Dripping	(4)	Flowing	(0)	5
Groundwater conditions	X										(0)	15
RATING TOTAL RMR (Srating sum of 1 to 5) = 66												
ROCK MASS CLASSIFICATION												
RMR	100 - 81	80 - 61	61 - 50	50 - 41	40 - 31	30 - 21	20 - 0					
DESCRIPTION	I Very Good	II Good	IIIA Fair A	IIIB Fair B	IV A Poor A	IVB Poor B	V Very Poor					
GSI - Surface conditions												
GSI - Structure												
GEOLOGICAL STRENGTH INDEX (GSI)												
												61
												40.3
DISCONTINUITY SETS												
Set Nº	Type	Dip dir. (º)	Dip (º)	Length (m)	Spacing (m)	BENCH GEOMETRY DESIGN		BLASTING INDEX				
1	D	197	78			Bench face angle (º)	Parameter	Value	IB			
2		157	81			Bench face dip. Dir (º)	RMD	20				
3		235	55			Berm width (m)	JPS	20				
BENCH GEOMETRY BEFORE BLASTING							JPO	25	37.732			

Fuente: Geotecnia Arasi

ANEXO: 43

BENCH DOCUMENTATION FORM									
STATION: EG-40	DOCUMENTED BY: R.I.I.S	BENCH: 4808	RQD %: 81						
DATE:	STRUCT.DOMAIN	BENCH HT. (m): 8	FRICCIÓN %: 32						
BLAST ID:	ROCK/ALT. TYPE: SG	RC (Mpa): 35.7	COHESION kpa: 270					Nº FRACT/METER: 8	
ROCK MASS RATING (R.M.R.)									
PARAMETER	VALUES								RATING
Intact Strength (Mpa)	> 250 (15)	100 - 250 (12)	50 - 100 (7)	25 - 50 (4)	< 25 (2) < 5 (1) < 1 (0)				1
R.Q.D. %	90 - 100 (20)	75 - 90 (17)	50 - 75 (13)	25 - 50 (8)	< 25 (3)				2
Joint Spacing (m)	> 2 (20)	0.6 - 2 (15)	0.2 - 0.6 (10)	0.06 - 0.2 (8)	< 0.06 (5)				3
Joint Condition	< 1m (6)	1 - 3 m (4)	3 - 10 m (2)	10 - 20 m (1)	> 20 m (0)				4A
	Close (6)	0.1 mm (5)	0.1 - 1.0 mm (4)	1 - 5 mm (1)	> 5 mm (0)				4B
	V. Rough (6)	Rough (5)	S. Rough (3)	Smooth (1)	Slickensided (0)				4C
	None (6)	Hard < 5 mm (4)	Hard > 5 mm (2)	Soft < 5 mm (2)	Soft > 5 mm (0)				4D
Weathering	None (6)	S.Weathered (5)	M. Weather. (3)	V. Weather. (2)	Decomposed (0)				4E
Groundwater conditions	Dry (15)	Damp (10)	Wet (7)	Dripping (4)	Flowing (0)				5
									10
									54
ROCK MASS CLASSIFICATION									
RMR	100 - 81	80 - 61	61 - 50	50 - 41	40 - 31	30 - 21	20 - 0		
DESCRIPTION	I Very Good	II Good	IIIA Fair A	IIIB Fair B	IVA Poor A	IVB Poor B	V Very Poor		IIIA
GSI-Surface conditions		Very Good	Good	Fair	Poor	Very Poor			
GSI-Structure		Massive	Blocky	Very Blocky	Disturbed	Desintegrated			Laminated/Shear.
<b>GEOLOGICAL STRENGTH INDEX (GSI)</b>									
								Módulo de Young (Gpa)	29.8
DISCONTINUITY SETS									
Set Nº	Type	Dip dir. (°)	Dip (°)	Length (m)	Spacing (m)	Bench face angle (°)	Parameter	Value	IB
1	D	30	80			Bench face dip. Dir (°)	RMD	20	
2		153	73			Berm width (m)	JPS	20	

Fuente: Geotecnia Arasi

ANEXO: 44

BENCH DOCUMENTATION FORM										
STATION: EG-41	DOCUMENTED BY: R.I.I.S	BENCH: 4808	RQD %: 70							
DATE:	STRUCT.DOMAIN	BENCH HT. (m): 8	FRICCIÓN °: 30.5							
BLAST ID:	ROCK/ALT. TYPE: C	RC (Mpa): 22.8	COHESION kpa: 255						Nº FRACT/METER: 11	

ROCK MASS RATING (R.M.R.)												
PARAMETER	VALUES										RATING	
	Intact Strength (Mpa)	>250	(15)	100 - 250	(12)	50 - 100	(7)	25 - 50	(4)	<25 (2) <5 (1) <1		(0)
R.Q.D. %	90 - 100	(20)	75 - 90	(17)	50 - 75	(13)	25 - 50	(8)	<25	(3)	2	13
Joint Spacing (m)	>2	(20)	0.6 - 2	(15)	0.2 - 0.6	(10)	0.06 - 0.2	(8)	<0.06	(5)	3	10
Joint Condition	<1m	(6)	1 - 3 m	(4)	3 - 10 m	(2)	10 - 20 m	(1)	>20 m	(0)	4A	4
	Close	(6)	0.1 mm	(5)	0.1 - 1.0 mm	(4)	1 - 5 mm	(1)	>5 mm	(0)	4B	4
	V. Rough	(6)	Rough	(5)	S. Rough	(3)	Smooth	(1)	Slickensided	(0)	4C	3
	None	(6)	Hard < 5 mm	(4)	Hard > 5 mm	(2)	Soft < 5 mm	(2)	Soft > 5 mm	(0)	4D	4
Weathering	None	(6)	S.Weathered	(5)	M. Weather.	(3)	V. Weather.	(2)	Decomposed	(0)	4E	6
	Dry	(15)	Damp	(10)	Wet	(7)	Dripping	(4)	Flowing	(0)	5	7
Groundwater conditions												
RATING TOTAL RMR (Srating sum of 1 to 5) = 51												

ROCK MASS CLASSIFICATION											
RMR	100 - 81	80 - 61	61 - 50	50 - 41	40 - 31	30 - 21	20 - 0	IIIA			
DESCRIPTION	I Very Good	II Good	IIIA Fair A	IIIB Fair B	IV A Poor A	IV B Poor B	V Very Poor				
GSI-Surface conditions		Very Good	Good	Fair	Poor	Very Poor					
GSI-Structure		Massive	Blocky	Very Blocky	Disturbed	Desintegrated	Laminated/Shear.				
GEOLOGICAL STRENGTH INDEX (GSI) 46											
Módulo de Young (Gpa) 28.0											

DISCONTINUITY SETS										
BENCH GEOMETRY DESIGN										
BLASTING INDEX										
Set Nº	Type	Dip dir. (°)	Dip (°)	Length (m)	Spacing (m)	Bench face angle (°)	Parameter	Value	IB	
1	D	287	69			Bench face dip. Dir (°)	RMD	50		
2		20	70			Berm width (m)	JPS	20		

Fuente: Geotecnia Arasi

ANEXO: 45

BENCH DOCUMENTATION FORM												
STATION: EG-42	DOCUMENTED BY: R.I.I.S	BENCH: 4816	RQD %: 91									
DATE:	STRUCT.DOMAIN	BENCH HT. (m): 8	FRICCION %: 39.5									
BLAST ID:	ROCK/ALT. TYPE: SA	RC (Mpa): 49	COHESION kpa: 345					Nº FRACT/METER: 5				
ROCK MASS RATING (R.M.R.)												
PARAMETER	VALUES								RATING			
Intact Strength (Mpa)	> 250	(15)	100 - 250	(12)	50 - 100	(7)	25 - 50	(4)	< 25 (2) < 5 (1) < 1	(0)	1	4
R.Q.D. %	90 - 100	(20)	75 - 90	(17)	50 - 75	(13)	25 - 50	(8)	< 25	(3)	2	20
Joint Spacing (m)	> 2	(20)	0.6 - 2	(15)	0.2 - 0.6	(10)	0.06 - 0.2	(8)	< 0.06	(5)	3	15
Joint Condition	< 1m	(6)	1 - 3 m	(4)	3 - 10 m	(2)	10 - 20 m	(1)	> 20 m	(0)	4A	4
	Close	(6)	0.1 mm	(5)	0.1 - 1.0 mm	(4)	1 - 5 mm	(1)	> 5 mm	(0)	4B	1
	V. Rough	(6)	Rough	(5)	S. Rough	(3)	Smooth	(1)	Slickensided	(0)	4C	5
	None	(6)	Hard < 5 mm	(4)	Hard > 5 mm	(2)	Soft < 5 mm	(2)	Soft > 5 mm	(0)	4D	4
Weathering	None	(6)	S.Weathered	(5)	M. Weather.	(3)	V. Weather.	(2)	Decomposed	(0)	4E	6
Groundwater conditions	Dry	(15)	Damp	(10)	Wet	(7)	Dripping	(4)	Flowing	(0)	5	10
RATING TOTAL RMR (Rating sum of 1 to 5) =										69		
ROCK MASS CLASSIFICATION												
RMR	100 - 81	80 - 61	61 - 50	50 - 41	40 - 31	30 - 21	20 - 0					
DESCRIPTION	I Very Good	II Good	IIIA Fair A	IIIB Fair B	IV A Poor A	IVB Poor B	V Very Poor					
GSI-Surface conditions	Very Good	Good	Blocky	Fair	Poor	Very Poor						
GSI-Structure	Massive	Blocky	Disturbed	Very Blocky	Disturbed	Desintegrated	Laminated/Shear.					
<b>GEOLOGICAL STRENGTH INDEX (GSI)</b>										64		
										44.1		
										Módulo de Young (Gpa)		
DISCONTINUITY SETS										BLASTING INDEX		
Set N°	Type	Dip dir. (°)	Dip (°)	Length (m)	Spacing (m)	Bench face angle (°)	Parameter	Value				
1	D	160	88			Bench face dip. Dir (°)	RMD	20				
2		31	85			Berm width (m)	JPS	20				

Fuente: Geotecnia Arasi

ANEXO: 46

BENCH DOCUMENTATION FORM												
STATION: EG-43	DOCUMENTED BY: R.I.I.S	BENCH: 4816	RQD %: 88									
DATE:	STRUCT.DOMAIN	BENCH HT. (m): 8	FRICCION %: 38									
BLAST ID:	ROCK/ALT. TYPE: SCP	RC (Mpa): 65	COHESION kpa: 330					Nº FRACT/METER: 6				
ROCK MASS RATING (R.M.R.)												
PARAMETER	VALUES								RATING			
Intact Strength (Mpa)	> 250	(15)	100 - 250	(12)	X	50 - 100	(7)	25 - 50	(4)	< 25 (2) < 5 (1) < 1 (0)	1	
R.Q.D. %	90 - 100	(20)	X	75 - 90	(17)		50 - 75	(13)	25 - 50	(8)	2	
Joint Spacing (m)	> 2	(20)	X	0.6 - 2	(15)		0.2 - 0.6	(10)	0.06 - 0.2	(8)	3	
Joint Condition	< 1m	(6)	X	1 - 3 m	(4)		3 - 10 m	(2)	10 - 20 m	(1)	4A	
	Close	(6)	X	0.1 mm	(5)		0.1 - 1.0 mm	(4)	1 - 5 mm	(1)	4B	
	V. Rough	(6)		Rough	(5)		S. Rough	(3)	Smooth	(1)	4C	
	None	(6)	X	Hard < 5 mm	(4)		Hard > 5 mm	(2)	Soft < 5 mm	(2)	4D	
Weathering	None	(6)		S.Weathered	(5)		M. Weather.	(3)	V. Weather.	(2)	4E	
Groundwater conditions	Dry	(15)	X	Damp	(10)		Wet	(7)	Dripping	(4)	5	
										Flowing	10	
											66	
RATING TOTAL RMR (Rating sum of 1 to 5) =										66		
ROCK MASS CLASSIFICATION												
RMR	100 - 81		80 - 61		61 - 50		50 - 41		40 - 31		30 - 21	20 - 0
DESCRIPTION	I Very Good		II Good		IIIA Fair A		IIIB Fair B		IVA Poor A		IVB Poor B	V Very Poor
GSI-Surface conditions			Very Good		Good		Fair		Poor		Very Poor	
GSI-Structure			Massive		Blocky		Very Blocky		Disturbed		Desintegrated	Laminated/Shear.
GEOLOGICAL STRENGTH INDEX (GSI)										61		
											Módulo de Young (Gpa)	40.3
DISCONTINUITY SETS												
BENCH GEOMETRY DESIGN												
Set Nº	Type	Dip dir. (°)	Dip (°)	Length (m)	Spacing (m)	Bench face angle (°)	Parameter		Value			
1	D	320	57			Bench face dip. Dir (°)	RMD	20		IB		
2		48	85			Berm width (m)	JPS	20				

Fuente: Geotecnia Arasi

ANEXO: 47

BENCH DOCUMENTATION FORM										
STATION: EG-44	DOCUMENTED BY: R.I.I.S	BENCH: 4888	RQD %: 88							
DATE:	STRUCT.DOMAIN	BENCH HT. (m): 8	FRICCIÓN °: 38.5							
BLAST ID:	ROCK/ALT. TYPE: SG	RC (Mpa): 32.8	COHESION kpa: 335					Nº FRACT/METER: 6		
ROCK MASS RATING (R.M.R.)										
PARAMETER	VALUES								RATING	
Intact Strength (Mpa)	>250	(15)	100 - 250	(12)	50 - 100	(7)	25 - 50	(4)	<25 (2) <5 (1) <1 (0)	1 4
R.Q.D. %	90 - 100	(20)	75 - 90	(17)	50 - 75	(13)	25 - 50	(8)	<25	2 17
Joint Spacing (m)	>2	(20)	0.6 - 2	(15)	0.2 - 0.6	(10)	0.06 - 0.2	(8)	<0.06	3 15
Joint Condition	<1m	(6)	1 - 3 m	(4)	3 - 10 m	(2)	10 - 20 m	(1)	>20 m	4A 4
	Close	(6)	0.1 mm	(5)	0.1 - 1.0 mm	(4)	1 - 5 mm	(1)	>5 mm	4B 4
	V. Rough	(6)	Rough	(5)	S. Rough	(3)	Smooth	(1)	Slickensided	4C 5
Infilling	None	(6)	Hard <5 mm	(4)	Hard >5 mm	(2)	Soft <5 mm	(2)	Soft >5 mm	4D 2
Weathering	None	(6)	S.Weathered	(5)	M. Weather.	(3)	V. Weather.	(2)	Decomposed	4E 6
Groundwater conditions	Dry	(15)	Damp	(10)	Wet	(7)	Dripping	(4)	Flowing	5 10
RATING TOTAL RMR (Srating sum of 1 to 5) = 67										
ROCK MASS CLASSIFICATION										
RMR	100 - 81	80 - 61	61 - 50	50 - 41	40 - 31	30 - 21	20 - 0			
DESCRIPTION	I Very Good	II Good	IIIA Fair A	IIIB Fair B	IVA Poor A	IVB Poor B	V Very Poor			
GSI-Surface conditions		Very Good	Good	Fair	Poor	Very Poor				
GSI-Structure		Massive	Blocky	Very Blocky	Disturbed	Desintegrated	Laminated/Shear.			
<b>GEOLOGICAL STRENGTH INDEX (GSI)</b>										
62										
Módulo de Young (Gpa)										
41.5										
DISCONTINUITY SETS										
BENCH GEOMETRY DESIGN					BLASTING INDEX					
Set Nº	Type	Dip dir. (°)	Dip (°)	Spacing (m)	Bench face angle (°)	Parameter	Value			
1	D	23	86		Bench face dip. Dir (°)	RMD	20			
2		228	78		Berm width (m)	JPS	20			

Fuente: Geotecnia Arasi



ANEXO: 48

BENCH DOCUMENTATION FORM											
STATION: EG-45	DOCUMENTED BY: R.I.I.S	BENCH: 4880	RQD %: 91								
DATE: 19/12/2015	STRUCT.DOMAIN	BENCH HT. (m): 8	FRICCION °: 37.5								
BLAST ID:	ROCK/ALT. TYPE: SG	RC (Mpa): 74.9	COHESION kpa: 325						Nº FRACT/METER: 5		
ROCK MASS RATING (R.M.R.)											
PARAMETER	VALUES								RATING		
Intact Strength (Mpa)	>250	(15)	100 - 250	(12)	X	50 - 100	(7)	25 - 50	(4)	<25 (2) <5 (1) <1 (0)	1
R.Q.D. %	X	(20)	75 - 90	(17)		50 - 75	(13)	25 - 50	(8)	<25 (3)	2
Joint Spacing (m)	> 2	(20)	0.6 - 2	(15)	X	0.2 - 0.6	(10)	0.06 - 0.2	(8)	<0.06 (5)	3
Joint Condition	<1m	(6)	1 - 3 m	(4)	X	3 - 10 m	(2)	10 - 20 m	(1)	> 20 m (0)	4A
	Close	(6)	0.1 mm	(5)		0.1 - 1.0 mm	(4)	1 - 5 mm	(1)	> 5 mm (0)	4B
	V. Rough	(6)	Rough	(5)		S. Rough	(3)	Smooth	(1)	Slickensided (0)	4C
Roughness	None	(6)	Hard < 5 mm	(4)	X	Hard > 5 mm	(2)	Soft < 5 mm	(2)	Soft > 5 mm (0)	4D
Infilling	None	(6)	S.Weathered	(5)		M. Weather.	(3)	V. Weather.	(2)	Decomposed (0)	4E
Weathering	X	(15)	Damp	(10)		Wet	(7)	Dripping	(4)	Flowing (0)	5
Groundwater conditions											10
RATING TOTAL RMR (Srating sum of 1 to 5) = 65											
ROCK MASS CLASSIFICATION											
RMR	100 - 81	80 - 61	61 - 50	50 - 41	40 - 31	30 - 21	20 - 0				
DESCRIPTION	I Very Good	II Good	IIIA Fair A	IIIB Fair B	IV A Poor A	IVB Poor B	V Very Poor				
GSI-Surface conditions	Very Good		Good	Fair	Poor	Very Poor					
GSI-Structure	Massive		Blocky	Very Blocky	Disturbed	Desintegrated	Laminated/Shear.				
GEOLOGICAL STRENGTH INDEX (GSI)											
60											
Módulo de Young (Gpa)											
39.2											
DISCONTINUITY SETS											
Set Nº	Type	Dip dir. (°)	Dip (°)	Length (m)	Spacing (m)	BENCH GEOMETRY DESIGN		BLASTING INDEX			
1	D	202	72			Bench face angle (°)	Parameter	Value	IB		
2		154	75			Bench face dip. Dir (°)	RMD	20			
3		150	85			Berm width (m)	JPS	20			
BENCH GEOMETRY BEFORE BLASTING							JPO	40	46.998		

Fuente: Geotecnia Arasi