

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



**“GEOLOGÍA Y CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA EN  
LA VETA SANGRE DE TORO I Y II EN LA EMPRESA  
MINERA LA SOLEDAD - CHALHUANE S.A.C.  
CONDESUYOS – AREQUIPA”**

**TESIS**

**PRESENTADA POR:**

**Bach. CLEDY PILAR FERNANDEZ VALDIVIA**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO GEÓLOGO**

**PUNO – PERÚ**

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

**“GEOLOGÍA Y CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA EN LA  
VETA SANGRE DE TORO I Y II EN LA EMPRESA MINERA LA  
SOLEDAD- CHALHUANE S.A.C. CONDESUYOS – AREQUIPA”**

**TESIS**

**PRESENTADA POR:**

**Bach. CLEDY PILAR FERNÁNDEZ VALDIVIA**

**PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:**

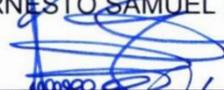
**INGENIERO GEÓLOGO**

**APROBADA POR:**

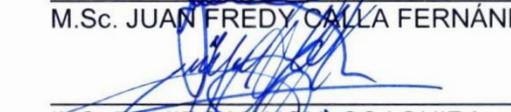
**PRESIDENTE:**

  
M.Sc. ERNESTO SAMUEL MACHACCA HANCCO

**PRIMER MIEMBRO:**

  
M.Sc. JUAN FREDY CALLA FERNÁNDEZ

**SEGUNDO MIEMBRO:**

  
ING. RAMIRO YANQUI COAQUIRA

**DIRECTOR / ASESOR:**

  
ING. GEORGES LLERENA PEREDO

**ÁREA : INGENIERÍA GEOTÉCNICA**

**TEMA : GEOLOGÍA Y CARACTERIZACIÓN DE MACIZO ROCOSO EN  
PERFORACIONES DIAMANTINAS**

**FECHA DE SUSTENTACIÓN: 10-12-2018**

## DEDICATORIA

A Dios, que ilumino mis pasos a lo largo de mi vida académica e intelectual, por mostrarme tantas señales cada día que hacen que decida pensando.

A mis padres que con mucho sacrificio me brindaron dedicación y esfuerzos, para mi superación constante para así lograr una formación ética y moral, por ser ellos quien merecen todos los logros, por haber hecho de mí la persona que soy, por darme siempre su apoyo incondicional hasta en los peores momentos, por mostrarme que la vida es para ser felices.

## AGRADECIMIENTOS

La culminación de la presente tesis ha sido un trabajo que me ha llenado de muy buenas experiencias, ha enriquecido mis conocimientos y me ha enseñado a que, si uno trabaja constantemente y se rodea de excelentes personas, todo puede ser más sencillo.

A mis padres, por ser mi fuente de inspiración para lograr lo que me proponga.

A toda mi familia, por estar a mi lado y por compartir esos momentos gratos y experiencias inolvidables en esta etapa de mi vida.

Mis agradecimientos a mis profesores por las enseñanzas brindadas durante el transcurrir de mis estudios de formación profesional en las aulas de la Escuela Profesional de Ingeniería Geológica de la Universidad Nacional Del Altiplano - Puno.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

PORTADA .....	I
DEDICATORIA.....	III
AGRADECIMIENTOS .....	IV
ÍNDICE DE CONTENIDOS .....	V
ÍNDICE DE FIGURAS .....	VIII
ÍNDICE DE ACRÓNIMOS .....	XII
RESUMEN .....	XIII
ABSTRACT .....	XIV

### CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN

1. Introducción.....	1
1.1 Generalidades .....	1
1.2 Objetivo de Investigación.....	2
1.2.1 Objetivo General.....	2
1.2.2 Objetivos Específicos .....	2
1.3 Antecedentes .....	3
1.4 Justificación .....	4

### CAPITULO II REVISIÓN DE LITERATURA

2. Revisión de literatura .....	6
2.1. Generalidades .....	6
2.2. Geomorfología.....	7
2.2.1. Cordillera occidental.....	7
2.2.2. Lomas y colinas .....	7
2.2.3. Valles interandinos .....	7
2.3. Estratigrafía .....	8
2.3.1. Complejo basal de la costa .....	8
2.3.2. Grupo yura (j- ca).....	8
2.3.3. Volcánico nazca (ts- vna).....	9
2.3.4. Depósitos aluviales (q-al).....	9
2.3.5. Súper unidad bella unión .....	10
2.3.6. Diques de dioritas.....	11
2.3.7. Diques de monzo-dioritas .....	11
2.4. Marco teórico conceptual.....	11
2.4.1. Condiciones geomecánicas del macizo rocoso.....	11
2.4.2. Mecánica de rocas .....	12
2.4.3. Macizo rocoso.....	13
2.4.4. Clasificación geomecánica del macizo rocoso .....	15
2.4.5. Calidad de macizo rocoso.....	17
2.4.6. Índice de calidad de macizo rocoso .....	17
2.4.7. Principales planos de sistemas de discontinuidades .....	18
2.4.8. Juntas.....	19
2.4.9. Excavaciones subterráneas.....	19
2.4.10. Procesos relacionados al magmatismo.....	21
2.4.11. Procesos magmáticos.....	21
2.4.12. Actividad magmática .....	22
2.4.13. Fluidos hidrotermales .....	23

2.4.14. Alteraciones hidrotermales.....	23
2.4.15. Mineralización aurífera .....	28
2.4.16. Perforaciones diamantinas.....	29
2.4.17. Diseño de excavaciones subterráneas .....	29
2.4.18. Medidas de sostenimiento .....	30
2.4.19. Condiciones hidrogeológicas en los taladros de perforación diamantina ...	31
2.4.20. Fenómeno de caída libre de bloques en los sondeos .....	33
2.4.21. Fenómeno de estallido de rocas.....	33

### CAPITULO III MATERIALES Y MÉTODOS

3. Materiales y metodos.....	36
3.1. Generalidades .....	36
3.2. Ubicación y acceso .....	37
3.3. Condiciones climáticas .....	37
3.4. Geología del área de investigación.....	38
3.5. Técnicas de investigación.....	40
3.6. Identificación estructuras geológicas en perforación .....	41
3.7. Métodos de investigación sobre el macizo rocoso.....	42
3.7.1. Resistencia a la compresión uniaxial de los testigos .....	43
3.7.2. Índice de designación de calidad de roca (RQD) .....	45
3.7.3. Espaciamiento de las juntas .....	48
3.7.4. Estados de las fisuras .....	48
3.7.5. Condiciones hidrogeológicas en la galería de exploración .....	49
3.7.6. Densidad de las discontinuidades .....	50
3.7.7. Condiciones hidrogeológicas .....	51
3.7.8. Ajuste por orientación de las discontinuidades.....	52
3.8. Técnicas de clasificación geomecánica.....	60
3.8.1. Clasificación rmr .....	60
3.8.2. Sistema de clasificación Q (barton).....	61
3.8.3. Sistema de clasificación GSI .....	62

### CAPITULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4. Resultados y discusiones.....	64
4.1 Características geológicas de la perforación.....	64
4.1.1 Caracterización geológica de la perforación de DDH-SR-01-16 .....	64
4.1.2 Comportamiento geomecánico del macizo rocoso de DDH-SR-02-16.....	70
4.1.3 Evaluación geológica y geomecánica de DDH-ST1-01-16.....	74
4.1.4 Evaluación geológica y geomecánica de DDH-ST1-02-16 .....	79
4.1.5 Evaluación geológica y geomecánica de DDH-VI-01-16 .....	83
4.1.6 Evaluación geológica y geomecánica de DDH-VI-02-16 .....	88
4.2 Comportamiento geológico del macizo rocoso .....	93
4.2.1 Estabilidad en las excavaciones subterráneas .....	93
4.2.2 Diseño de excavaciones subterráneas .....	94
4.2.3 Geología de la veta sangre toro .....	98
Conclusiones.....	99
Recomendaciones .....	100



Referencias Bibliograficas .....	101
Webgrafia.....	103
Anexos .....	104

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA N°	DESCRIPCIÓN	PÁG.
1.	Inducción, al personal sobre la instalación de medidas de sostenimiento y seguridad; así como la aplicación de concreto lanzado.....	31
2.	Instalación de cimbras, con distanciamiento en cada metro, en roca tipo IV - III. ....	34
3.	Plataforma de perforación diamantina; se observan equipos y herramientas y accesorios como portamuestra.....	35
4.	Abaco de correlación. Fuente. Luis I Gonzales de Vallejo. Ingeniería Geológica 2002. ....	45
5.	El grado de alteración en esta corrida, es mínima, entre los planos de sistemas de discontinuidades, solo se observan sericitas y rocas triturada. La roca es sana, que corresponde a la profundidad de 75.30 – 79.00 m.....	49
6.	Testigos de perforación diamantina del sondeo DD-SR-01-16, muestra una roca de muy buena calidad, que corresponde a la profundidad de 108 112.55 m con una alteración argílica y propílica; con dos sistemas de discontinuidades dominantes. ....	51
7.	Mapeo taxonómico en labores subterráneas, veta Sangre Toro I.....	53
8.	Testigos de perforación diamantina sobre la estructura mineralizada de la veta Esperanza, que corresponde una roca de nueva calidad en la profundidad de 115 – 118.70 m de profundidad con un sistema de discontinuidades dominantes. ....	56
9.	Cores de perforación diamantina, que muestra la recuperación de testigos al 100%.....	65
10.	Diagrama de dispersión de la concentración de los polos, tomados durante el registro lineal, en los testigos de perforación diamantina.....	67
11.	Proyección estereográfica de planos mayores; del dominio de los sistemas de discontinuidades que actúan en el entorno de la excavación subterránea. ....	68
12.	Diseño de excavación subterránea en base soporte de carga, sujeto sistemas de discontinuidades dominantes, que se generan cuñas, que actúan en el entorno de la excavación. ....	69

13.	En esta simulación nos determina que, para el proceso constructivo, debe tener en cuenta, las posibles de zona de debilidad y la caída libre de cuñas, además muestra que en la bóveda central de la galería de producción es posible que en el piso es más vulnerable, que en los hastiales. Es probable que en cada cuña un perno de 1.5 m.....	69
14.	Diagrama de dispersión; perforación diamantina DDH-SR-02-16; muestra un sistema de discontinuidad principal y dos aleatorios que generan pequeñas cuñas inestables en los hastiales de la galería de desarrollo. ....	71
15.	Testigos de perforación diamantina, con una recuperación de 100%; son granodioritas de textura gráfica, con fenocristales de plagioclasas, piroxenos y biotitas; se observa un sistema principal de discontinuidades, de superficie rugosa. Profundidad de 88.20 – 92.05 m, roca de muy buena calidad. ....	72
16.	Diagrama de planos mayores; se observan dos sistemas de discontinuidades dominantes, que forman algunas cuñas inestables de la sección de la galería. ....	72
17.	Análisis de estabilidad en la sección de la galería de producción; que deberá tener en cuenta en el proceso constructivo; sin ninguna medida de sostenimiento.....	73
18.	Posibles cuñas que se generan, durante la fase de excavación y determinar la instalación de pernos de anclaje en cada cuña inestable en la bóveda central.....	73
19.	Testigos de perforación diamantina de la profundidad de 54.30 – 58.00; considerados como roca tipo I; intersectadas por dos sistemas de discontinuidades.....	75
20.	Diagrama de dispersión de los testigos de perforación diamantina DDH-ST1-01-16, la roca se encuentra fracturada, y con sistema de cuñas inestables.....	78
21.	Diagrama de planos mayores, dominantes observadas en la perforación diamantina DDH-ST1-01-16; se analizan cuñas inestables. ....	78
22.	Análisis de estabilidad en la sección de la galería de producción; que deberá tener en cuenta en el proceso constructivo; sin ninguna medida de sostenimiento; con diferentes factores de seguridad en la sección de excavación. ....	79
23.	Análisis de cuñas inestables y la instalación de pernos de anclaje en cada cuña, que se manifiesta perpendicular a la sección de excavación.....	79

24.	Testigos de perforación diamantina de DDH-ST2-02-16; roca de buena consistencia, constituidas de dioritas de textura máfica; con fenocristales de plagioclasas, hornblendas. Biotitas y cloritas. Profundidad de perforación 128.40 – 132.65 m. ....	81
25.	Diagrama de dispersión de la concentración de los polos de dos sistemas de discontinuidades dominante en la evaluación del macizo rocoso, mediante el sondeo de perforación diamantina. ....	82
26.	Diagrama de planos mayores en el sondeo de perforación diamantina DDH-ST-02-16. Se observan sistemas de discontinuidades estables. ....	82
27.	Posibles cuñas de caída libre; en la sección de excavación en el proceso de excavación en la galería de producción y secciones anexas al acceso principal. ....	83
28.	Cuñas de caída libre en la sección de excavación y la instalación de pernos de anclaje, analizado en base al sondeo de perforación diamantina DDH-ST-02-16. ....	83
29.	Testigos de perforación diamantina en el sondeo DDH- VI-01-16, que corresponde a una diorita de textura porfídica de fenocristales de plagioclasas, piroxenos, biotitas y minerales de alteración, que se observan entre las juntas. ....	85
30.	Diagrama de dispersión de la concentración de polos en los testigos de perforación diamantina del sondeo DDH-VI-O1-16. ....	86
31.	Diagrama de planos mayores de la concentración de polos en los testigos de perforación diamantina del sondeo DDH-VI-O1-16. ....	87
32.	Análisis de cuñas y soporte de carga en las diferentes posiciones de la sección de excavación de la zona de acceso a las labores principales de la veta. ....	88
33.	El análisis de estabilidad y la instalación de posibles pernos de anclajes por cada cuña que se muestra en la sección de excavación. ....	88
34.	Testigos de perforación diamantina DDH –VI-02-16; se observan dos sistemas de discontinuidades dominantes principales, sin relleno, poco alterado. Roca de muy buena consistente dique de dioritas de textura porfídica. ....	90
35.	Diagrama de dispersión de la concentración de polos en sondeo DDH-VI-02-16. ....	90

36.	Diagrama de planos mayores de la concentración de polos en sondeo DDH-VI-02-16. ....	91
37.	Diseño soporte de carga en el inicio y final de la excavación. ....	92
38.	Instalación de pernos de anclaje puntual en las cuñas inestables que se observan en el modelamiento de la sección de excavación de la galería. ....	92
39.	Designación del tipo de macizo rocoso y la calidad de roca en la galería 090 de la veta Buenos Aires.....	94
40.	Diseño de excavación y medidas de sostenimiento en roca tipo III.....	95
41.	Diseño de instalación de pernos de anclaje en sección completa en roca tipo III.....	95
42.	Diseño de medidas de sostenimiento en roca tipo IV, instalación de pernos de anclaje y cimbras a sección completa; para zonas vulnerables de alto riesgo. ....	96
43.	Diseño de excavación y medidas de sostenimiento, para roca tipo II. ....	97
44.	Diseño de excavación y algunas medidas de sostenimiento en roca tipo I .....	97

**ÍNDICE DE ACRÓNIMOS**

RQD	Índice de designación de calidad de roca
RMR	Clasificación geomecánica del macizo rocoso
Q	Índice de calidad de roca
Jn	Número de familias, sistema de discontinuidades
Jr	Factor de rugosidad de las discontinuidades
Ja	Factor de alteración de las discontinuidades
Jw	Condiciones hidrogeológicas de las discontinuidades
SRF	Factor de reducción por tensiones a diferentes profundidades

## RESUMEN

El mapeo geológico y la caracterización geomecánica que se realizará en la unidad minera La Soledad - Chahuane; a lo largo de los afloramientos de la roca encajonantes constituidos de diques y stock de dioritas en granodioritas que cortan a la súper unidad Bella Unión en las que se encuentran emplazadas estructuras mineralizadas que afloran a lo largo del área de investigación. Las vetas son; Sangre de Toro I, Sangre de Toro II, Santa Rosa, Viento Piso, Viento, Jessica, Buenos Aires, Esperanza; entre otras estructuras mineralizadas ramal Jessica, Veta 3, Veta 2. El objetivo del trabajo de investigación es realizar la evaluación de la geología de la roca de caja y la caracterización geomecánica en base a los parámetros geomecánicos; que serán observadas y loguadas en la recuperación de los testigos, del programada de perforación diamantina que se ha realizado en la veta Sangre de Toro I y II en la Empresa Minera La Soledad – Chahuane. Entre las unidades litológicas que afloran en el área del yacimiento son rocas del complejo Bella Unión, que se encuentran afectados por planos de discontinuidades dominantes en la orientación del dominio andino, fracturados, cizallados por diques, stock de dioritas y granodioritas que corresponden a la súper unidad Incahuasi y Tiabaya. La mineralización es escasa en los pocos afloramientos que se observan, de cuarzo, óxidos de hierro hematites, goethitas que se encuentran relleno de fracturas y pequeñas grietas en la roca de caja. Es probable encontrar la alteración hidrotermal propilítica, con un ensamble característico de clorita, epidota, calcita, con menor frecuencia de alteración argílica, silicificación dominante en la roca caja. Es probable que la clasificación geomecánica (RMR) de los testigos de perforación diamantina de, roca de tipo I y II; basados en el índice de la designación de la calidad de roca (RQD). Además, se logrará determinar las zonas inestables y las cuñas de caída libre en la fase de desarrollo y excavación subterránea de las galerías de producción en las diferentes estructuras mineralizadas del yacimiento que tengan mayor valor económico de los principales minerales asociados a la mineralización aurífera. Las medidas de sostenimiento se propondrán en base a la clasificación del tipo de roca.

**Palabras clave:** Geología – perforación diamantina – geomecánica – sostenimiento.

## ABSTRACT

The geological mapping and the geomechanical characterization that will be carried out in the mining unit La Soledad - Chalhuane; along the outcrops of the encajonantes rock constituted of dikes and stock of dioritas, granodioritas that cut to the super unit Bella Union in which they are emplaced mineralized structures that appear throughout the investigation area. The veins are; Sangre de Toro I, Sangre de Toro II, Santa Rosa, Wind Floor, Wind, Jessica, Buenos Aires, Esperanza; among other mineralized structures branch Jessica, Veta 3, Veta 2. The objective of the research work is to perform the evaluation of the geology of the box rock and the geomechanical characterization based on the geomechanical parameters; that will be observed and recorded in the recovery of the witnesses, from the scheduled diamond drilling that has taken place in the Sangre de Toro I and II vein at the La Soledad Mining Company - Chalhuane. Among the lithological units that emerge in the area of the deposit are rocks of the Bella Union complex, which are affected by planes of dominant discontinuities in the orientation of the Andean domain, fractured, sheared by dikes, stock of diorites and granodiorites that correspond to the super Incahuasi and Tiabaya unit. The mineralization is scarce in the few outcrops that are observed, of quartz, hematite iron oxides, goethite that are filling fractures and small cracks in the box rock. It is probable to find the propylitic hydrothermal alteration, with a characteristic assemblage of chlorite, epidote, calcite, with less frequency of argillic alteration, dominant silicification in the box rock. It is likely that the geomechanical classification (RMR) of the diamond drill core, rock type I, II and III; based on the rock quality designation index (RQD). In addition, it will be possible to determine the unstable areas and the wedges of free fall in the development phase and underground excavation of the production galleries in the different mineralized structures of the deposit that have greater economic value of the main minerals associated with gold. The support measures will be proposed based on the classification of the type of rock.

Keywords: Geology - diamond drilling - geomechanical - support.

## CAPÍTULO I

### INTRODUCCIÓN

#### 1. INTRODUCCIÓN

##### 1.1 GENERALIDADES

La caracterización geomecánica del macizo rocoso, y las condiciones geológicas en los diferentes sondajes de perforaciones diamantinas ejecutadas en la empresa minera La Soledad – Chalhuané; cooperan en la instalación de medidas de sostenimiento de pernos de anclaje, cimbras; diseños de excavaciones subterráneas a lo largo de los diferentes frentes de avance; cuando se logran desarrollar galerías de producción en las estructuras mineralizadas favorables, con leyes de Au, económicamente rentables, para la Empresa minera; como la veta Sangre de Toro en ambos frentes de desarrollo, Veta 2, Veta 3, son paralelas a la veta Esperanza. Las distintas profundidades alcanzadas en las quince perforaciones diamantinas, son desarrolladas en granodioritas, dioritas, algunos en zonas intermedias meta-dioritas; en las que se lograron la recuperación de testigos por más de 95%; estos a la vez son favorables para la investigación del comportamiento de los parámetros geomecánicos en las distintas profundidades alcanzadas. Con los resultados obtenidos se logrará proponer la clasificación geomecánica del macizo rocoso y la deformación por el sistema de discontinuidades dominantes que son probables en el dominio andino de NW – SE; mientras las estructuras mineralizadas son ligeramente

perpendiculares a esta dirección de deformación andina. Las alteraciones hidrotermales de propilitización, silicificación y los controles de mineralización de pirita diseminada, calcopirita, cuarzo, calcita son minerales de guía, para el análisis y muestreo de ocurrencia de la presencia de trazas de oro, según los ensayos reportados de laboratorio.

La inestabilidad del macizo rocoso, no solamente se debe a los sistemas de discontinuidades principales dominantes, sino también se observan la intersección de dos o tres sistemas de discontinuidades, que han creado cuñas de caída libre; en zonas inestables, por la presencia de flujos de aguas subterráneas; además por la disolución de la roca en los diferentes zonas alteraciones que ocurren en el macizo rocoso, que no son evaluados adecuadamente, la calidad y el control del tipo de roca; que está constituido por la granodiorita de la Súper Unidad Bella Unión, a su vez intruidas por diques de dioritas, monzo-dioritas y diabasas. Además, los grandes cambios en la estructura de la roca son por el proceso de intemperismo o escorrentía de superficie que constantemente afecta a estos afloramientos.

## 1.2 OBJETIVO DE INVESTIGACIÓN

### 1.2.1 Objetivo general

Evaluar las características geológicas en las perforaciones diamantinas, la evolución de las unidades litológicas y caracterizar el comportamiento geomecánico del macizo rocoso in situ en base a la recuperación de los testigos de perforación diamantina en la veta Sangre de Toro I y II en la Empresa Minera La Soledad – Chalhuané.

### 1.2.2 Objetivos específicos

- Evaluar las características geológicas en las perforaciones diamantinas de los testigos de recuperación en la veta Sangre de Toro I y II.

- Caracterizar el comportamiento geomecánico del macizo rocoso en los testigos de recuperación en las diferentes profundidades para proponer el diseño de excavaciones subterráneas.

### 1.3 ANTECEDENTES

Unidad Minera La Soledad – Chalhuane, es una Empresa Peruana que tiene sus operaciones mineras en el Distrito de Andaray, Provincia de Condesuyos, Departamento de Arequipa; esta unidad minera opera como una Unidad Empresarial Asociada (UEA), que se compone por las siguientes concesiones mineras: Sofía Chalhuane I, JG de Chalhuane, Eva Hilda I, Eva Hilda, Sofía Chalhuane III. Minera la Soledad cuenta con la infraestructura de oficinas y campamentos, equipamiento de mina que permiten continuar con una operación a escala reducida. Durante el año 2014 la Compañía Chalhuane ha comenzado la exploración en esta veta con subniveles y galerías lo que ha permitido delimitar un clavo mineralizado que tiene cerca de 100 metros de ancho y ha sido actualmente reconocida unos 60 metros en vertical.

El área fue reconocida por los geólogos de la Empresa Minera Buenaventura S.A.C. en la década de los setenta y por CEDEMIN en los años 1985 y 1990. En las vetas se encontró una serie de trabajos antiguos de españoles y de mineros informales contemporáneos. Los estudios de CEDEMIN fueron de tipo de reconocimiento y muestreo en las vetas del sector El Viento, Chalhuane y Esperanza. En el estudio de los años del 90 se hace un estimado de reservas probables.

En los años 1998, 1999 y 2000 nuevamente la Cía. CEDEMIN realiza un inventario en detalle de las vetas para lo cual hace levantamientos topográficos y geológicos a escala 1/2000 de la veta Buenos Aires y otras del sector El Viento. Realizan estudios geoquímicos de suelos e investigan la ocurrencia de pórfidos o cuerpos diseminados en las rocas dioritas alteradas, granodioritas y tonalitas.

Construyen 508 metros de galerías en los niveles 1550 y 1590 de la veta Buenos Aires, calculando alrededor de 17,000 TM con 17 gramos de oro. En las vetas del sector el Viento calculan 19,000 TM con 8 gramos de oro a partir de muestreos de afloramiento y cateos. En la veta Buenos Aires se tiene la instalación de cimbras.

Entre el 2002 y el 2004 la Cía. Minera Titán alquila la propiedad y explota las menas ricas de la veta Buenos Aires, además realizar la labor 1510 de 350 metros de longitud. Luego la mina regresa a los dueños actuales quienes en los años 2010, 2011 y 2012 reiniciaron las exploraciones con buenos resultados.

La campaña de diamantina del 2016 se ejecutaron 13 taladros haciendo un total de 2778.90 metros perforados, cumpliendo el objetivo de ubicar e identificar de ubicación de las vetas: Sangre Toro 1, Santa Rosa, Viento Piso, Viento, Jessica, Buenos Aires y otras nuevas estructuras como: Ramal Jessica, Veta 3, Veta 2, Estructura 1, ubicadas en el yacimiento.

#### **1.4 JUSTIFICACIÓN**

La caracterización geomecánica del macizo rocoso, y las condiciones geológicas en los diferentes sondajes de perforaciones diamantinas ejecutadas, ha sido necesario la propuesta de la instalación de medidas de sostenimiento de pernos de anclaje y cimbras; en el diseños de excavaciones subterráneas; cuando se lograran desarrollar galerías de producción en las estructuras mineralizadas favorables, con leyes de Au, económicamente rentables, favorable para la Empresa minera; como la veta Sangre de Toro en ambas frentes de desarrollo, Veta 2, Veta 3, se son paralelas a la veta Esperanza. En las distintas profundidades alcanzadas en las quince perforaciones diamantinas, son desarrolladas en granodioritas, dioritas, algunos en zonas intermedias meta-dioritas; en las que se lograron la recuperación de testigos por más de 95%; estos, a la vez son favorables para la investigación del comportamiento de los parámetros geomecánicos en las distintas profundidades alcanzadas. Con los resultados obtenidos se logrará proponer la

clasificación geomecánica del macizo rocoso y la deformación por el sistema de discontinuidades dominantes que son probables en el dominio andino de NW – SE; mientras las estructuras mineralizadas son ligeramente perpendiculares a esta dirección.

Las alteraciones hidrotermales de propilitización, silicificación y los controles de mineralización de pirita diseminada, calcopirita, cuarzo, calcita son minerales de guía, para el análisis y muestreo de ocurrencia de la presencia de las trazas de oros, según los ensayos reportados de laboratorio. Los sondajes de perforación diamantina lograron alcanzar una profundidad acumulada de 2852.90 m con recuperación de testigos de la roca de caja con intercepto que cortan a estructuras mineralizadas en los 15 sondajes. Búsqueda de nuevas estructuras mineralizadas con valores económicos favorables de recursos minerales, para su posterior explotación en los diferentes afloramientos de vetas mapeadas en superficie.

## CAPITULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### 2. REVISIÓN DE LITERATURA

##### 2.1. GENERALIDADES

La identificación la calidad de las formaciones geológicas y la estabilidad de las excavaciones subterráneas, están caracterizados por rocas plutónicas, dioritas, granodioritas y rocas volcánicas en la parte superficial que se encuentran erosionados por aguas de escorrentía. La denominación corresponde a J. CALDAS (1978), al descubrir un enorme volumen de rocas sub-volcánicas, que en la localidad de Bella Unión (cuadrángulo de Acarí), localmente intruyen a formaciones del Cretáceo inferior.

En el cuadrángulo de Chaparra el Complejo Bella Unión ocupa una faja continua e intermedia, con un rumbo que varía de EW a NW-SE, cubriendo los sectores de la mina Calpa, curso inferior de los ríos Atico y Chaparra, prolongándose a los cuadrángulos de Chala y Jaquí, pero limitado marginalmente por grandes lineamientos estructurales, que probablemente controlaron su emplazamiento; intruye a formaciones del Jurásico y Cretáceo inferior.

El comportamiento geomecánico de estas formaciones geológicas depende únicamente por los parámetros geomecánicos. La mineralización puede estar asociada al relleno en juntas o estructuras

mayores, como vetas Sangre Toro I y II, las que son investigadas con perforaciones diamantinas y otras estructuras mineralizas anexas.

## **2.2. GEOMORFOLOGÍA**

Entre las principales unidades geomorfológicas, que se han identificado en el entorno de la mina La Soledad – Chalhuane; se detallan en el siguiente orden:

### **2.2.1. Cordillera Occidental**

Entre los 1,200 y 2,500 m.s.n.m. se presentan una cadena cerros con dirección NW y cuyas cumbres forman colinas altas onduladas del modelado andino por agentes erosivos; ríos, escorrentía de superficie, originando así un relieve poco accidentado. Constituidos principalmente por el batolito de la costa, afloran a lo largo de esta cadena. Las mayores altitudes del área estudiada corresponden a esta unidad geomorfológica; de los cuales son representantes por los Cerros Chalhuane, Purimarca. En estas quebradas de Chalhuane, Purimarca, Sangre de Toro y San José la variación de las alturas es de 1,400 a 2,000 metros sobre el nivel de mar.

### **2.2.2. Lomas y colinas**

Entre las principales colinas y lomas están constituidas formaciones geológicas que se han caracterizado como; granodioritas, dioritas, tonalitas y diques de monzo-diorita; que presentan una superficie, suave erosionado y cubiertos depósitos aluviales, coluviales y depósitos de pie de monte entre las quebradas.

### **2.2.3. Valles interandinos**

Constituidos por los ríos Acarí, Yauca, Chala, Chaparra, Challhuane y Atico que drenan en dirección sur, suroeste (SSO), han formado valles, los cuales, por alcanzar su perfil de equilibrio, han profundizado y ensanchado sus cauces. Este proceso ha sido

desarrollado en un tiempo relativamente corto, es debido a la erosión sobre una superficie en proceso de levantamiento andino en la dirección noroeste.

## **2.3. ESTRATIGRAFÍA**

### **2.3.1. Complejo basal de la costa**

La unidad más Joven de este Complejo, probablemente esté constituida por gneis granítico, con textura bandeada irregular, producto de una deformación protoclastica, de un metamorfismo regional de alto grado; asociada a fenómenos de deformaciones locales de milonitización ocurridos durante su emplazamiento. Esta Unidad está integrada, principalmente, Por gneises bandeados, de color rosado hasta gris verdoso, cuya composición es variada, pudiendo ser cambiada, en algunos casos a migmatitas. Se complementa en menor proporción con esquistos, anfibolitas y calcosilicatos en la zona bahía de Paracas. La edad más antigua se ha obtenido en gneis biotítico tomada en Mollendo – La Joya, que ha dado de 2052 +/- 45 M.A. Gneis feldespático de San Juan Marcona, Ica con 1914 +/- 44 M.A. Otras muestras de gneis del área de Mollendo – Camaná, resultan edades de 1910 – 1960 M.A., rocas precámbricas que corresponde al complejo basal de la costa del Sur del Perú. Entre Ilo . Matarani datadas en biotitas y circones de 2500 M.A. consideradas las más antiguas de las formaciones geológicas en el complejo basal de la costa del sur del Perú.

### **2.3.2. Grupo Yura (J- ca)**

En la base de la zona de estudio se presenta el Grupo Yura, que comprende la Formación Puente (Caloviano), seguida de la Formación Cachíos, de rocas principalmente finas capas de lutitas grises. La Formación Labra de areniscas cuarzosas, cuarcitas y lutitas, seguida de la Formación Gramadal, constituida por calizas

con fauna marina del Jurásico-Cretácico. La actividad volcánica occidental en el Jurásico superior está representada en el Departamento de Ica por la Formación Jahuay, constituido por lavas y brechas andesíticas de texturas porfídicas con una parte superior de areniscas calcáreas y calizas conteniendo amonites que indican una edad Titoniana en la columna estratigráfica.

### **2.3.3. Volcánico Nazca (Ts- vna)**

En las partes más altas entre Chuquibamba y Cotahuasi se tiene tres conos volcánicos formando a manera de un triángulo, estos conos volcánicos han jugado un papel importante en el desarrollo geomorfológico. Las formas cónicas fueron modificadas por glaciares que descendieron de los casquetes glaciares en forma radial, la morfología es agreste y empinada en la parte central y radialmente disminuye la pendiente en las partes alta de la mina. En el cuadrángulo de Arequipa aflora esta formación sobreyaciendo en discordancia erosional al Volcánico Millo. Sobreyacen también al Grupo Yura (Jurásico – Cretácico), y a la Formación Capillune al norte del Volcán Misti. La morfología que forman estos depósitos es de pendiente suave y poca elevación cubriendo paleo valles y rellenando quebradas. También forman paisajes interesantes con disyunción cónica. Se le asigna, tentativamente, una edad Plioceno media a superior. Consiste de depósitos piroclásticos tobáceos, se diferencian dos tipos según su coloración: Tobas blancas compactas infra yaciendo a tobas de color salmón.

### **2.3.4. Depósitos aluviales (Q-al)**

Constituidos principalmente por sedimentos aluviales cuaternarios, coluviales, escombros, fragmentos líticos, englobados en una matriz de grava, arena, que gran parte de ellos constituyen terrazas fluviales, acumuladas en los flancos de los ríos y quebradas.

### 2.3.5. Súper Unidad Bella Unión

La denominación corresponde a J. CALDAS (1978), al descubrir un enorme volumen de rocas sub-volcánicas, que en la localidad de Bella Unión (cuadrángulo de Acarí), intruyen a formaciones del Cretáceo inferior en el área de estudio.

En el cuadrángulo de Chaparra el Complejo Bella Unión ocupa una faja continua e intermedia, con un rumbo que varía de EW a NW-SE, cubriendo los sectores de la mina Calpa, curso inferior de los ríos Atico y Chaparra, prolongándose a los cuadrángulos de Chala y Jaquí, pero limitado marginalmente por grandes lineamientos estructurales, que probablemente controlaron su emplazamiento; intruye a formaciones del Jurásico y Cretáceo inferior.

Litológicamente, el Complejo Bella Unión es muy variado, pero la roca predominante es una brecha de intrusión de naturaleza andesítica o dacítica, en grandes bloques angulosos y subangulosos, desarrollados mecánicamente durante su emplazamiento y que por erosión diferencial exhiben una morfología cavernosa, principalmente en los terrenos de fuerte pendiente. Este tipo de roca están intruídas a su vez por innumerables plutones y diques de andesita porfídicas con grandes fenocristales de feldespatos calco – alcalinos; en matrices afaníticas intensamente piritizadas tales como los que se exponen en la mina Calpa y el curso del río Atico, finalmente, el conjunto de estas rocas se encuentra cruzada por diques andesíticos o dacíticos, en muchos casos formando verdaderos enjambres. La composición predominante de los intrusivos es andesítica o dacítica, pero intervienen otros cuerpos más básicos, tales como diabasas porfídicas gris verdosas, constituidas por fenocristales de labradoritas, olivinos y piroxenos.

### **2.3.6. Diques de dioritas**

Los diques de diorita contienen plagioclasas (andesina-labradorita). Las tonalitas y granodioritas presentan plagioclasas zonadas con inclusiones de hornblenda, teniendo como minerales secundarios: biotitas, esfena y hornblenda. Son cuerpos intrusivos hipoabisales más joven que el batolito de la costa y la dotación radiométrica indica una edad de intrusión de 80 MA (Cobbing 1979), formándose, durante la primera fase de la tectónica Andina. La duración del plutonismo fue cerca de 20 MA (Cobbing 1979), como los intrusivos de dioritas. Los contactos son más nítidos. Caracterizados de fenocristales de plagioclasas, biotita, augita con una textura granítica. Conteniendo plagioclasas zonadas, grande cristales de hornblenda, con biotitas en plaquetas en la sección. Las gabrodioritas contienen como mineral esencial a las plagioclasas (bitownita-labradorita), como accesorios a clinopiroxenos, opacos, zircón, apatito y esfena; minerales accesorios indicadores de una buena mineralización aurífera.

### **2.3.7. Diques de monzo-dioritas**

Compuestos principalmente de fenocristales de plagioclasas con núcleos de zonación concéntrica de 45 %, asociados a feldespatos alcalinos de 20 %, con cuarzo como accesorio de 8 %; entre los minerales máficos de biotitas, augitas y hornblendas que superan los 40 %; entre los principales minerales de alteración se observan sericitas, caolinitas, cloritas y minerales opacos. Diques que presentan una textura porfídica con una alteración argílica dominante en la base.

## **2.4. MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL**

### **2.4.1. Condiciones geomecánicas del macizo rocoso**

Unidad geológica de afloramiento de todo tipo de rocas que distingue habitualmente la geología, como la roca de basamento

para obras de ingeniería; así como túneles; galerías subterráneas, casas de máquinas, cimentaciones, muchas de estos afloramientos se llegan a investigar y evaluar mediante perforaciones diamantinas; como el caso de las vetas Sangre Toro I y II. Matriz rocosa es el material rocoso exento de discontinuidades, o los bloques de “roca intacta” que quedan entre ellas. La matriz rocosa, a pesar de considerarse continua, presenta un comportamiento heterogéneo y anisótropo ligado a su fábrica y a su microestructura mineral. Mecánicamente queda caracterizada por su peso específico, resistencia y deformabilidad (Luis Gonzales de Vallejo, 2003).

Una discontinuidad es 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 (Luis Gonzales de Vallejo, 2003).

#### **2.4.2. Mecánica de rocas**

La mecánica de rocas se ocupa del estudio teórico y práctico de las propiedades y comportamientos mecánicos de los materiales rocosos, y de su respuesta ante la acción de fuerzas aplicadas en su entorno físico. El desarrollo de la mecánica de rocas se inicia como consecuencia de la utilización del medio geológico para obras de ingeniería superficiales, subterráneas, galerías de desarrollo y de exploración; durante la fase de perforaciones diamantinas en exploraciones de yacimientos de valor económico o investigación del tipo de roca; para el diseño de medidas de sostenimientos en excavaciones subterráneas; entre otros en el diseño de grandes metros, centrales hidroeléctricas, presas y otros trabajos de ingeniería (Luis Gonzales de Vallejo, 2003).

### 2.4.3. Macizo rocoso

Unidad geológica de afloramiento de todo tipo de rocas que distingue habitualmente la geología, como la roca de basamento para obras de ingeniería; así como túneles; galerías subterráneas, casas de máquinas, cimentaciones, muchas de estos afloramientos se llegan a investigar y evaluar cortadas, excavaciones subterráneas, piques de exploración y desarrollo de niveles; como el caso vetas Sangre de Toro I y II de la mina La Soledad - Chalhuané. Matriz rocosa es el material rocoso exento de discontinuidades, o los bloques de “roca intacta” que quedan entre ellas. La matriz rocosa, a pesar de considerarse continua, presenta un comportamiento heterogéneo y anisótropo ligado a su fábrica y a su microestructura mineral. Mecánicamente queda caracterizada por su peso específico, resistencia y deformabilidad (Luis Gonzales de Vellejo, 2003).

Una discontinuidad es 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 (DEERE, D.U. 1964).

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.

- **Anisotropía.** La presencia de planos de debilidad de orientaciones preferentes (estratificación, laminación, foliación, familias de diaclasas tectónicas) implican diferentes propiedades y comportamiento mecánico en función de la dirección considerada. También la orientación de los esfuerzos

que se ejercen sobre el material rocoso puede implicar una anisotropía asociada al estado tensional del macizo.

- **Discontinuidad.** La presencia de discontinuidades (superficie 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.** Son las zonas con diferente litología, grado de alteración o meteorización, contenido en agua, etc. Pueden presentar propiedades muy diferentes.

Las discontinuidades y los bloques de matriz constituyen en conjunto la estructura rocosa, y gobiernan el comportamiento global del macizo rocoso, predominando uno u otro componente en función de sus propiedades relativas y de la escala o ámbito de estudio en el macizo.

Además de las propiedades intrínsecas del macizo rocoso asociadas a las características de la matriz rocosa y de las discontinuidades, que definen en gran parte a su comportamiento. El macizo rocoso la unidad básica de la corteza terrestre, de ella podemos decir, que está formado por un conjunto de minerales petrogénicos en determinadas condiciones de presión y temperatura, entre otras condiciones fisicoquímicas en el enlace de los iones mineralizantes y procesos de consolidación. Las rocas que constituyen la corteza terrestre se clasifican en; ígneas, sedimentarias y metamórficas (Luis Gonzales de Vallejo, 2003).

**Ígneas.** Formados por una masa sólida fundida, que se han solidificado por el enfriamiento del magma compuesto de diferentes tipos de minerales o agregados de minerales. Las rocas ígneas se agrupan en dos grupos grandes. Rocas ígneas intrusivas, son aquellos que llegan a cristalizar en el interior de la corteza terrestre

en las condiciones favorables de presión y temperatura. Rocas ígneas extrusivas; son aquellas rocas que cristalizan y consolidan por encima o próximas a la superficie terrestre, que constituyen el afloramiento de rocas volcánicas. En la mina generalmente está constituido por granodioritas, dioritas, cubiertas en algunas zonas por rocas volcánicas de composición calco-alkalina del volcánico Nazca.

**Rocas sedimentarias.** Se forman por la acumulación de sedimentos que se consolidan en una roca dura, con diferentes capas de estratificación. Pueden ser integrados por fragmentos líticos de composición poli genética de diferentes tamaños, minerales resistentes, restos de organismos y productos de acción química o de evaporación, mezcla de estos.

Por la descomposición química produce residuos y materiales en disolución, por tanto los minerales sueltos y las partículas de roca son transportados por el agua, viento, hielo; a las partes más deprimidas, donde se depositan en un nuevo orden de sedimentación. Según su origen las rocas sedimentarias se clasifican en clásticos y no clásticos.

**Rocas metamórficas.** Son rocas que se han formado por la transformación de rocas sedimentarias e ígneas; que el conjunto de minerales que lo constituyen han sufrido ajustes estructurales y una re-cristalización en las condiciones fisicoquímicas o combinaciones impuestas por una determinada profundidad sujetos a una presión y calor, a consecuencia de la actividad de fluidos magmáticas químicamente activos (Luis Gonzales de Vallejo, 2003). En la zona de trabajo pequeños afloramientos de rocas del complejo basal de la costa de gneis y esquisto, que son intruidas por el batolito de la costa.

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

Para la clasificación geomecánica del macizo rocoso, en las excavaciones subterráneas y en los diferentes niveles de desarrollo de la mina La Soledad - Chalhuane; se ha evaluado en

base con los parámetros propuestos por Bieniawski (1976), sistema de valoración de macizo rocoso (Rock Mass Rating) comúnmente denominado RMR, cuyo procedimiento consta de los siguientes parámetros.

1. Resistencia a la compresión uniaxial del material rocoso
2. Índice de calidad de roca RQD
3. Espaciamiento de las juntas
4. Estado de las fisuras
5. Condiciones hidrogeológicas de las aguas subterráneas
6. Corrección por la orientación de las discontinuidades

Para calcular el índice de calidad de roca RQD, se ha utilizado una ecuación diferencial propuesta por *Priest y Hodsson 1976*; en donde, se considera el número de discontinuidades por metro lineal.

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

De donde:

$$\lambda = \text{Número de juntas por metro lineal}$$

RQD permite dar un valor numérico a la calidad de roca, no es de sorprenderse que se haya tratado de relacionar el número con la clasificación cualitativa de Terzaghi y relacionaron este valor modificando en valor de RQD; muy usual para el procedimiento de lugueo; estas referencias son citados en los diferentes trabajos de investigación en la fase de prospección y exploración.

#### **CUADRO No 1 ÍNDICE DE DESIGNACIÓN DE CALIDAD DE ROCA**

RQD (%)	CALIDAD DE ROCA
25.0	Muy mala calidad
25 – 50	De mala calidad
50 – 75	De regular calidad
75 – 90	De buena calidad
90 – 100	De muy buena calidad

Fuente: Terzaghi, 1979.

Las granodioritas, dioritas, tonalitas se encuentran cortas en diferentes direcciones por tres sistemas de discontinuidades principales, asociados a un conjunto de juntas paralelas, el mapeo y evaluación geomecánica determinan la calidad de roca, en la veta Buenos Aires (ver cuadro 2).

**CUADRO No 2 CLASIFICACION DE MACIZO ROCOSO  
SEGÚN EL TOTAL DE VALUACIÓN**

Parámetros de RMR	Tipo de roca	Condición
100 – 81	I	Muy buena roca
80 – 61	II	Buena roca
60 – 41	III	Roca regular
40 – 21	IV	Roca mala
< 20	V	Roca muy mala

Fuente: Parámetros propuestos por Bieniawski (1976, 1979), para la clasificación geomecánica del macizo rocoso.

#### 2.4.5. Calidad de macizo rocoso

La calidad del macizo rocoso se evalúa, en los afloramientos de unidades litológicas; en las perforaciones diamantina en diferentes profundidades; que consiste en determinar el estado de ruptura o deformación, causado por los principales sistemas de discontinuidades que llegan a fracturar, alterar y generar zonas de debilidad (HOEK, E., BROWN, E.T. 1980).

#### 2.4.6. Índice de calidad de macizo rocoso

Para determinar el índice de calidad de macizo, ha sido evaluado por diferentes autores en base a un conjunto de observaciones del comportamiento de los parámetros geomecánicos. Esta clasificación fue propuesta por Barton, Lien y Luden del N. G. I. (Norwegian geotechnical institute), consisten determinar el índice de la calidad de roca con la siguiente relación (ecu, 1).

$$Q = \frac{RQD}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a} \times \frac{J_w}{SRF}, \text{ de donde (ecu, 1)}$$

**Cuadro N° 3 Parámetros geomecánicos según Barton y Lien**

Índice	Parámetros geomecánicos según Barton y Lien	
Q	RQD	Índice propuesto por Deere. (Índice de calidad de roca)
	Jn	Número de familias, sistema de discontinuidades.
	Jr	Factor de rugosidad de las discontinuidades.
	Ja	Factor de alteración de las discontinuidades
	Jw	Condiciones hidrogeológicas de las discontinuidades
	SRF	Factor de reducción por tensiones a diferentes profundidades

El factor RQD / Jn representa la estructura de la masa rocosa es una medida aproximada del tamaño de bloques o fragmentos líticos; que dependerá por separación de los planos de discontinuidades, actuantes.

El factor Jr / Ja representa la rugosidad y las características de fricción de las paredes de las discontinuidades o del material de relleno, que se encuentran en la obtención de las perforaciones diamantinas. Parámetros que determinan el grado de alteración del macizo rocoso; si las condiciones del macizo son malas; se procederá a diseñar las medidas de sostenimiento adecuado.

El factor Jw / SRF, consiste en la pérdida de carga, en las excavaciones subterráneas en perforaciones diamantina y la presión de confinamiento del macizo de acuerdo a la profundidad, las condiciones de flujos de aguas subterráneas, el tipo de relleno, la resistencia de la roca y otros aspectos que afecta al comportamiento geomecánico del macizo, durante y después del proceso constructivo (Bieniawski Z. T. 1979), en las diferentes áreas de trabajos de ingeniera; así como en las excavaciones subterráneas en los diferentes niveles de la vetas Sangre de Toro I y II.

#### **2.4.7. Principales planos de sistemas de discontinuidades**

De acuerdo al análisis de las condiciones de esfuerzos cortantes que actúan sobre el macizo rocoso, en las excavaciones

subterráneas en los diferentes niveles, además de puede observar en los testigos de perforaciones diamantinas, se logra determinar el dominio de los principales sistemas de discontinuidades dominantes en la deformación del macizo rocoso; se logra a investigar realizando el mapeo taxonométrico y registro lineal del sistema de discontinuidades que llegan a deformar; entre ellos las juntas y fallas, son los principales planos que crean cuñas de caída y la inestabilidad del macizo, en los niveles más profundos en la veta Sangre de Toro; planos de discontinuidades que están directamente relacionados a la deformabilidad de la actividad tectónica, al movimientos de los flujos de aguas subterráneas, el grado de alteración de la roca matriz; es decir relacionados a los principales fallamientos locales y regionales, que intervienen en el desplazamiento de planos de juntas principales, con respecto a otros planos que crean brechamientos en la matriz del macizo rocoso (Hoek, E., Brown, E.T. (1980).

#### **2.4.8. Juntas**

Son sistemas de fracturamientos que se observan en las obras subterráneas o en los afloramientos del macizo rocoso; son paralelas al sistema de discontinuidades principales; son juntas que no presentan desplazamientos algunos con respecto a un bloque de apoyo. Muchas de las juntas se presentan paralelos al dominio estructural de fallas dominantes en el macizo rocoso, en la deformación del macizo.

La mayoría de las juntas, presentan relleno de roca triturada entre los planos de diaclazamiento y/o fracturamiento; los mismos que no inestabilizan al macizo; se observa el auto-sostenimiento de los bloques que constituyen la matriz rocosa.

#### **2.4.9. Excavaciones subterráneas**

En un diseño convencional de ingeniería, lo primero es determinar las cargas que se aplicaran, para luego prescribir el

material que tenga las suficientes características de resistencia y de formación y que como consecuencia se determina la geometría y las dimensiones. En el caso de las excavaciones subterráneas, el diseñador tiene que entenderse con el macizo rocoso, y no es posible prescribir propiedades específicas de este material para cumplir con los requerimientos del diseño. Por otro lado, en mecánica de rocas las cargas de diseño no son importantes, como las que resultan de la redistribución de los esfuerzos iniciales de campo, es decir aquellos que existían previamente a la excavación. Existen además, una variedad grande de formas de comportamiento del macizo rocoso y la evaluación de la resistencia del macizo rocoso, representa uno de los problemas difíciles de resolver. Por lo tanto, es claro que en el diseño de la excavación en roca se requiere una operación estrecha entre las especialidades de geología, civil y minera.

Lo indicado arriba no quiere decir que las fases típicas de un diseño no sean aplicados al caso de una excavación todo lo contrario, sin embargo el diseño de excavación subterránea requiere de consideraciones especiales que implican el conocimiento de condiciones geotécnicas del lugar. E. Hoek (1974), expone una filosofía de diseño que por considerarla importante: “El objetivo primordial de todo diseño de excavación subterránea debe ser el utilizar a la roca, como el principal material estructural, disturbado al mismo tiempo la roca durante la fase de excavación y utilizando lo menos que se puede de concreto o acero de refuerzo. En su estado intacto muchas de las rocas duras son algunas de ellas, son tan resistentes como el acero. Consecuentemente no tiene en reemplazar un material que puede ser perfectamente el adecuado por otro, que no es mejor. Un buen diseño en ingeniería balanceado, en el cual todos los factores interactúan, aun aquellos que no son cuantificables, es tomado en cuenta. La responsabilidad de todo ingeniero no es calcular con precisión, sino más bien juzgar profundamente”. En

esencia, el diseño de mecánica de rocas aplicado a obras subterráneas incorpora aspectos tales como planeamiento de la ubicación de las estructuras, determinación de sus dimensiones y formas, su orientación y distribución, procedimiento de excavación (voladura, cortadura), selección de refuerzo o soporte y la instrumentación.

#### **2.4.10. Procesos relacionados al magmatismo**

La evolución magmática está relacionada a la actividad tectónica, las mismas que se forman por la fusión de los silicatos en estado de fusión. La diferenciación magmática es el desarrollo de series continuas y discontinuas en la formación de cuerpos ígneos, que corresponden al batolito de la costa del sur del Perú; además los mismos que están relacionados a la formación de yacimientos minerales por actividad ígnea posterior.

#### **2.4.11. Procesos magmáticos**

Los procesos pegmatíticos generan una mineralización de berilo, niobio, tantalio, litio y tierras raras generados en la fase transicional pegmatítica de la evolución magmática, entre 800 - 700°C. Las pegmatitas son generadas por procesos de cristalización fraccionada de los magmas residuales, cristalizado alrededor de plutones y rocas circundantes.

Las estructuras típicas de las pegmatitas pueden ser, equigranular, laminada, zonada, micropegmatítica y reticular. La textura de los minerales pueden ser, diseminada, bandeada, lenticular, mirolítica y radial. El intercrecimiento gráfico es una de las estructuras características que ocurre debido a la cristalización simultánea del feldespato y cuarzo; de turmalina, moscovita o granate con cuarzo; moscovita con pertitas y cuarzo con berilo.

Las pegmatitas complejas son raras y se caracterizan por la presencia de cristales de grano muy grueso en las zonas interiores, presentado a veces constituyentes minerales metálicos

y tierras raras como accesorios. Algunos de estos minerales son de gran valor económico como el topacio, granate, espodumena, monacita, turmalina, casiterita, tantalita, columbita, berilo y otros. En algunos casos se pueden encontrarse pequeñas cantidades de sulfuros como calcopirita, molibdenita, esfalerita que son ampliamente distribuidos en las pegmatitas; así como en las granodioritas, dioritas de la veta Buenos Aires. La actividad magmática del sur del Perú es de composición calco – alcalina; que corresponde al batolito de la Costa, a la unidad geomorfológica de la faja costanera.

#### **2.4.12. Actividad magmática**

La fase magmática está asociada a la generación de depósitos minerales de cromo, platino, cobre, titanio o hierro. En general son considerados como depósitos intra – magmáticos, porque la mineralización ocurre a una distancia pequeña de la fuente de emisión. Durante esta etapa cristalizan los minerales pirogenéticos como plagioclasa, olivino, piroxenos, nefelina y leucita a partir de magmas relativamente secos y a temperaturas sobre 800°C, dando lugar a la consolidación magmática. Durante esta etapa también cristalizan algunos minerales metálicos como magnetita, ilmenita, cromita y otros minerales hidratados.

Durante la cristalización fraccionada acompañada de una de una mineralización metálica ocurre principalmente con los magmas toleíticos (en menor proporción con los magmas alcalinos) concentrados y acumulados minerales de cromo, titanio y hierro.

Estos metales cristalizan paralelamente con los minerales formadores de roca; al inicio de la diferenciación magmática, conjuntamente con el olivino, piroxenos y las plagioclasas cálcicas generando una mineralización diseminada en los cuerpos de rocas plutónicas. Cuando el proceso de cristalización fraccionada ocurre en zonas estables, tipos de plataformas, llegan a formar cuerpos estratiformes masivos.

El proceso de mineralización continúa durante el proceso de segregación magmática hasta la última fase de cristalización de los minerales constituyentes en las soluciones acuosas. La cristalización fraccionada en los magmas alcalinos genera minerales de carbono, fósforo, niobio, tierras raras y uranio, que cristalizan principalmente en forma diseminada. La mayoría de estos depósitos no alcanza un grado fuerte de concentración y un valor económico comercial necesario para su explotación.

#### **2.4.13.Fluidos hidrotermales**

Una gran parte de yacimientos emplazados en las francas metalogenéticas del Perú fueron mineralizados por fluidos hidrotermales, conocidos también como aguas juveniles, aguas magmáticas, aguas hipogénicas. Los fluidos hidrotermales se forman al final de la consolidación magmática, el mismo que tiene de 1 – 5% de agua, en el Perú el magma, corresponde a rocas ígneas de composición félsicas a intermedias (calco – alcalinas). En profundidad se tiene mayor presión y temperatura, cerca de superficie la presión y temperatura disminuyen. En esta última condición decrece la solubilidad de los iones complejos de los fluidos hidrotermales, produciéndose las precipitaciones para formar estructuras mineralizadas. El flujo hidrotermal en profundidad es ligeramente ácido, al reaccionar dicho flujo con la roca encajonante durante su ascenso la acidez baja y se produce la precipitación de los minerales (Tumialan P. H. Compendio de Yacimientos Minerales. INGEMMET Lima – Perú).

#### **2.4.14.Alteraciones hidrotermales**

Son los cambios que ocurren en la estructura de la roca encajonante en mineralogía y textura debido a los fluidos mineralizantes. La alteración hidrotermal sirve como guía del mineral, para indicar el carácter de las soluciones asociadas de los minerales secundarios. La conversión de un ensamble de

minerales primarios a otra más estable, apropiado a las condiciones de temperatura, presión y composición de los fluidos hidrotermales. La alteración hidrotermal puede ocurrir antes, durante o después de la deposición de los minerales metálicos.

#### 2.4.14.1. Alteración argílica

La alteración argílica está caracterizada por la formación de minerales arcillosos bajo un intenso metasomatismo de  $H^+$  (lixiviación ácida) con temperaturas entre 100 - 300° C. Esta alteración gradada hacia el interior hacia una zona filica, considerando hacia el exterior una gran zona propilítica. Este tipo de alteración es común en los sistemas porfídicos de depósitos de pórfidos de Cu – Mo. Los ambientes epitermales son tipificados por una extensa lixiviación ácida, con posterior alteración argílica que proveen una muy útil guía de mineralización.

La lixiviación básica de aluminio – silicatos pueden resultar en un enriquecimiento en sílice y de la **alteración argílica**, y pueden ser un gran factor para las zonas de enriquecimiento en sílice. Los minerales de arcillas reemplazan principalmente a las plagioclasas y a los minerales máficos (hornblenda, biotita). Las arcillas amorfas como la alófana están también presentes y reemplazan a las facies aluminio – silicatos (INGEMMET, Acosta, 2010 - 2014).

La alteración argílica intermedia es definida como la presencia de montmorillonita, illita (menor de 100°C y pH 5 – 6), clorita y arcillas del grupo de caolín (caolinita, dickita, halloysita, alófana todas ellas formadas a temperaturas menores de 300°C y pH < 3) y menor cantidad de sericita y de cuando en cuando el feldespato K puede estar como un remanente inalterado, con el K, Ca, Mg, Na, no lixiviados

completamente. Las biotitas y cloritas pueden ser localmente importantes. Entre las zonas de alteración argílica intermedia puede estar presente la caolinita hacia el interior de la zona fílica, pudiendo estar las arcillas como montmorillonitas en las zonas externas (León, W.; Palacios, O.; Torres, V. 2000).

La alteración argílica avanzada es debida al intenso ataque ácido, y más o menos completa lixiviación de los cationes alcalinos con la completa destrucción de los feldespatos y fases de silicatos máficos. La alunita, dickita, caolinita, pirofilita, baritina y diáspora son las fases de minerales típicos de éste tipo de alteración. Además, pueden estar presentes sulfuros, topacio, turmalina y un rango de arcillas amorfas.

Los minerales de sulfuros pueden contener covelina, digenita y enargita (proporciones altas de sulfuros primarios). La alteración argílica avanzada se observan frecuentemente en yacimientos epitermales de alta sulfuración de Au – Ag. La alteración argílica avanzada es encontrada en sistemas de pórfidos, en el interior de la base hidrotermal y vetas relacionadas a minerales preciosos, y más típicamente en los sistemas de sulfuros primarios epitermales.

#### **2.4.15. Alteración potásica**

Esta alteración se forma a una alta temperatura de 300 - 700°C. Mineralógicamente se observa reemplazamiento de plagioclasa por ortoclasa, reemplazamiento de hornblenda o clorita por biotita, moscovita. A veces están acompañadas de una lixiviación de calcio y sodio.

Presenta un ensamble característico de ortoclasa – biotita – cuarzo, ortoclasa – clorita algunas veces ortoclasa – biotita – clorita, ortoclasa – biotita – magnetita; acompañado por cantidades variables de otros minerales como albita – sericita – anhidrita – apatito. Los minerales característicos de esta alteración son feldespatos potásicos y biotita en los pórfidos y adularia en los sistemas epitermales. La alteración potásica está usualmente acompañada por sulfuros (calcopirita, pirita, molibdenita).

#### **2.4.16. Alteración fílica**

La alteración fílica o sericitización es típica de un ensamble cuarzo – sericita – pirita. Las fases minerales, asociadas con la alteración QSP son el feldespato potásico, caolinita, calcita, biotita, rutilo, anhidrita y apatito. Común en vetas hidrotermales, en los pórfidos de cobre que se producen a temperaturas de 200 - 300°C. Esta alteración gradada hacia el interior hacia el tipo potásico, por el incremento de feldespato potásico y/o biotita, y hacia el interior tiende a una alteración de tipo argílico por incremento en las cantidades de minerales de arcillas.

En los pórfidos de cobre se encuentra como una franja concéntrica rodeando al área de alteración potásica, el ancho de esta franja concéntrica está en función de la dimensión del pórfido, pudiendo ser dicho ancho del orden de centenares de metros. En los yacimientos diseminados de oro, a profundidad se observa una ligera sericitización, reconocido por su aspecto blanquecino más untuoso que el talco.

#### **2.4.17. Alteración propilítica**

La alteración propilítica está caracterizada por la adición de H<sub>2</sub>O y CO<sub>2</sub> y localmente azufre, con un apreciable metasomatismo de H<sup>+</sup>. Los minerales típicos son; clorita, epidota, carbonatos, albita, feldespato potásico y pirita. En lugar de sericita, se tiene los óxidos de Fe, montmorillonita y zeolitas son también comunes. La

presión bien definida y campos de temperatura estables de los minerales de zeolitas marcan un importante monitoreo de temperaturas y profundidades. Este rasgo es particularmente importante en sistemas epitermales. Común en yacimiento hidrotermales del Perú; se observa clorita, epidota, calcita por alteración hidrotermal de los minerales ferromagnesianos de la roca encajonante; se produce en un rango de temperaturas de 180 - 220°C.

La alteración propilítica tiende a ser más penetrante hacia la zona interior de un depósito hidrotermal, o en otras palabras, alrededor de una fuente hidrotermal caliente. La alteración propilítica grada hacia el exterior a una roca no alterada, o donde el metamorfismo está presente hacia el interior, como las rocas de facies de esquistos verdes.

#### **2.4.18. Silicificación**

Uno de las alteraciones más comunes y mejor conocidos en los procesos hidrotermales. Las formas más comunes de la sílice son el cuarzo -  $\alpha$  de baja temperatura, o cuarzo bajo es la forma más común, el cuarzo -  $\beta$  de alta temperatura o cuarzo alto (tridimita, cristobalita, ópalo, calcedonia) generalmente se encuentran en rocas volcánicas. La tridimita es especialmente común como un producto de desvitrificación de vidrios volcánicos, formando intercrecimientos con feldespatos alcalinos. Durante los procesos hidrotermales la sílice puede ser introducida de los fluidos circulantes, o este puede ser dejado atrás en la forma de sílice residual después de la lixiviación de las bases. La solubilidad de la sílice se incrementa con la temperatura y la presión, y si la solución experimenta una expansión adiabática la sílice precipita, así que en regiones de baja presión y temperatura éste es prontamente depositado.

#### **2.4.19. Mineralización aurífera**

La mineralización aurífera, tiene diferentes ámbitos de formación, que se encuentra asociados a minerales de control de alta temperatura. De Montreuil L. (1990), Mineralogía de Yacimientos Auríferos del Perú, realiza una sinopsis de las diferentes franjas de yacimientos de Au en el Perú, rescatando la ocurrencia de Au nativo sobre electrum en los depósitos mesotermiales de la franja Nazca – Ocoña, también la relación del ratio Au/Cu mostrando la importancia en este tipo de yacimientos, hay valores de Au si ocurren contenidos de Cu en la pirita. Ejecuta un modelo primigenio de lo que serían las franjas metalogénicas del Perú publicadas por el INGEMMET (2007).

De Montreuil L. (1979), Ocurrencias de Oro y sus asociaciones – Franja Nazca Ocoña, resalta las características mineralógicas del distrito minero mostrando una estrecha relación entre el Au, la pirita y el cuarzo, mencionan las tendencias andinas en las estructuras y el emplazamiento de la mineralización desde ambientes hidrotermales, hipotermiales a mesotermiales. La mineralización metálica del área ocupa metalogénicamente la faja cuprífera sur de la vertiente pacífica que se extiende a lo largo de la parte baja y media occidental de los Andes.

El potencial minero en el frente andino está dado por la pequeña minería que trabaja a escala limitada, siendo los yacimientos exclusivamente filoneanos de tipo hipo, meso y epitermal, algunos de los cuales han sufrido enriquecimiento supergénico. Las vetas en general, presentan rumbos coincidentes con la dirección de la Cordillera Occidental, con buzamientos moderados y potencias promedio de alrededor de 1 m. La mineralización en esta región está relacionada genéticamente a las intrusiones del Batolito de la Costa, al Complejo Bella Unión, diques de composición calcoalcalina y se halla emplazada en rocas encajonantes tanto de dichas unidades posteriores, como en secuencias volcánicas Nazca y volcánico-sedimentarias del Jurásico - Cretácico.

#### **2.4.20.Perforaciones diamantinas**

Las perforaciones diamantinas se caracterizan por su pequeño diámetro y por la ligereza, versatilidad y fácil desplazamiento de las máquinas. Estas investigaciones, pueden alcanzar a profundidad considerables. Además, llegar a perforar en cualquier tipo de terreno y diferentes grados de inclinación. La extracción de los testigos es continua y el porcentaje de recuperación del testigo con respecto a la longitud perforada puede ser muy alto; dependiendo del sistema de extracción y la calidad de la máquina de perforación. Algunos tipos de materiales son difíciles de perforar a rotación; como las gravas, cantos bolones o arenas finas bajo el nivel freático, debido al arrastre del fluido de perforación. Para los casos muy difíciles como estos, se llegan a aplicar los diferentes métodos de inyección, que dependerá del tipo de terreno.

#### **2.4.21.Diseño de excavaciones subterráneas**

En un diseño convencional de ingeniería, lo primero es determinar las cargas que se aplicaran, para luego prescribir el material que tenga las suficientes características de resistencia y de formación y que como consecuencia se determina la geometría y las dimensiones. En el caso de las excavaciones subterráneas, el diseñador tiene que entenderse con el macizo rocoso, y no es posible prescribir propiedades específicas de este material para cumplir con los requerimientos del diseño. Por otro lado, en mecánica de rocas las cargas de diseño no son importantes, como las que resultan de la redistribución de los esfuerzos iniciales de campo, es decir aquellos que existían previamente a la excavación.

Existen, además una variedad grande de formas de comportamiento del macizo rocoso y la evaluación de la resistencia del macizo rocoso, representa uno de los problemas difíciles de resolver. Por lo tanto, es claro que en el diseño de la

excavación en roca se requiere una operación estrecha entre las especialidades de geología, civil y minera.

Lo indicado arriba no quiere decir que las fases típicas de un diseño no sean aplicados al caso de una excavación todo lo contrario, sin embargo el diseño de excavación subterránea requiere de consideraciones especiales que implican el conocimiento de condiciones geotécnicas del lugar. E. Hoek (1974) expone una filosofía de diseño que por considerarla importante:

“El objetivo primordial de todo diseño de excavación subterránea debe ser el utilizar a la roca, como el principal material estructural, disturbado al mismo tiempo la roca durante la fase de excavación y utilizando lo menos que se puede de concreto o acero de refuerzo. En su estado intacto muchas de las rocas duras son algunas de ellas, son tan resistentes como el acero. Consecuentemente no tiene en reemplazar un material que puede ser perfectamente el adecuado por otro, que no es mejor. Un buen diseño en ingeniería balanceado, en el cual todos los factores interactúan, aun aquellos que no son cuantificables, es tomado en cuenta.

La responsabilidad de todo ingeniero no es calcular con precisión, sino más bien juzgar profundamente”. En esencia, el diseño de mecánica de rocas aplicado a obras subterráneas incorpora aspectos tales como planeamiento de la ubicación de las estructuras, determinación de sus dimensiones y formas, su orientación y distribución, procedimiento de excavación (voladura, cortadura), selección de refuerzo o soporte y la instrumentación.

#### **2.4.22. Medidas de sostenimiento**

El sostenimiento se refiere a los elementos estructurales de sujeción del terreno; aplicaciones inmediatamente después de la excavación del túnel, galerías de desarrollo, u otras excavaciones

subterráneas que requieren la instalación de medidas de sostenimiento inmediato, durante el proceso constructivo, en función de la calidad del tipo de roca; con el fin de asegurar su estabilidad durante la construcción y después de ella, así como garantizar las condiciones de seguridad.



Figura 1. Inducción, al personal sobre la instalación de medidas de sostenimiento y seguridad; así como la aplicación de concreto lanzado.

#### **2.4.23. Condiciones hidrogeológicas en los taladros de perforación diamantina**

Durante la excavación de túneles, galerías de exploración o explotación, se producen filtraciones o flujos de aguas subterráneas, los cuales son drenados de acuerdo a las características de ocurrencia de agua, en la matriz rocosa. Desde anomalías de humedad hasta grandes filtraciones por planos de fisuras; si las condiciones de excavación de obras subterráneas se encuentran por debajo del nivel freático. Los flujos de caudales mayores de aguas subterráneas debilitan la estabilidad del macizo rocoso, aumentan el grado de alteración en el relleno que se encuentran entre los planos de fractura en la matriz rocosa.

En rocas fracturadas o estratificadas, la influencia del agua en las fisuras es un aspecto importante a considerar. Cuando en las fisuras hay presencia de agua, ésta ejerce presión y actúa como lubricante, además puede lavar el relleno débil de las fracturas, complicando la situación de la perforación diamantina, en las

diferentes profundidades. En la recuperación de testigos de perforación se debe controlar; este tipo de riesgos y peligros que se presentan durante el proceso constructivo. Erosión interna, en planos de juntas y fisuras de los sistemas de discontinuidades que afectan al macizo rocoso de granodioritas y diques de diorita y monzo-diorita, que alteran y descomponen la roca en la veta Sangre de Toro I y II.

En rocas intensamente fracturadas, la presencia del agua acelera el proceso de aflojamiento, especialmente en ambientes de altos esfuerzos donde el aflojamiento de la roca será muy rápido. La observación de cambios en la humedad, en la apertura de cada tramo, ayuda en el reconocimiento de posibles fallas de la roca, como resultado de las variaciones de los esfuerzos. Si el agua empieza a filtrarse a través de la roca dentro de un área que es normalmente seca, es un signo de que la roca está pasando por cambios de esfuerzos, estos cambios harán que las fracturas se abran o se extiendan, empezando a manifestarse la humedad. Similarmente, si un área normalmente con presencia de agua empieza a secarse, también deberá tomarse como una indicación de que la roca está ganando esfuerzos.

La presencia de agua en las fallas geológicas y zonas de corte, influye significativamente en la estabilidad de la masa rocosa en los cortes de talud. La presencia de agua en la roca intemperizada y débil, puede acelerar el aflojamiento y actuar como lubricante para producir deslizamientos. En ambientes de altos esfuerzos, la situación de la estabilidad de la masa rocosa se complica.

Finalmente, en las rocas expansivas, el agua es el detonador del hinchamiento de las mismas, con la consecuente generación de altas presiones y deformaciones que pueden llevarla a la falla o dañar los sistemas de sostenimiento. Es importante considerar que la presencia de agua ácida daña a los sistemas de

sostenimiento, produciendo corrosión a los elementos de hierro, acero y deterioro del concreto. Con el tiempo, los elementos de sostenimiento perderán su efectividad, creando situaciones de peligro de caída de rocas.

Otro aspecto a ser considerado como peligro de caída de rocas, es la influencia del agua del relleno hidráulico sobre las condiciones de estabilidad de la masa rocosa en los cortes de talud. Si no se implementan sistemas adecuados de drenaje del agua de relleno, las filtraciones debilitarán a la masa rocosa del entorno, particularmente a las rocas débiles, haciéndolas propensas al aflojamiento (Cruz Ramírez, Isaac, 2004).

#### **2.4.24.Fenómeno de caída libre de bloques en los sondeos**

Las caídas de bloques de roca ocurren en las profundidades de los sondeos realizados, cuando la calidad de roca es mala y muy fracturada. Los taladros de perforación diamantina; así como la broca y la barra, son sujetos a grandes daños y fusión parcial o total, cuando se producen derrumbes o caída de bloque durante el rimado y recuperación de los testigos de perforación. Las dificultades se producen, cuando las areniscas se encuentran brechadas y redondeadas. Para la recuperación de los tramos, en profundidades en los sondeos que superan, los 500 m; se llegan a la cementación e inyección de lecha o mortero; técnica que se hace de acuerdo a las condiciones hidrogeológicas y la calidad de agua subterránea.

#### **2.4.25.Fenómeno de estallido de rocas**

El fenómeno de estallido de rocas en galerías, túneles profundos es muy conocido y requiere la toma de medidas especiales durante la construcción y la aplicación de sostenimiento durante la excavación. La forma más común de estallido de rocas se debe al repentino desplome o explosión de fragmentos de roca, generalmente en la bóveda central o laterales de un túnel. Son

fenómenos de explosión de fragmentos de roca cizallada por la liberación de esfuerzos que actúan en la envoltura de la excavación subterránea, que son tensiones asociados a la deformación tectónica de esfuerzos activos.

Este fenómeno se manifiesta con mayor frecuencia en túneles relacionados con la minería, ya que estos se excavan a mayor profundidad que los túneles en el campo de la ingeniería civil.



Figura 2. Instalación de cimbras, con distanciamiento en cada metro, en roca tipo IV - III.

La fracturación por dilatación de las rocas se manifiesta cuando las tensiones cerca de la excavación exceden la resistencia del macizo. Aunque las ondas sísmicas pueden desencadenar el proceso, el origen causado por la fracturación por dilatación de rocas está influenciado por las tensiones existentes alrededor de la excavación



Figura 3. Plataforma de perforación diamantina; se observan equipos y herramientas y accesorios como portamuestra.

La estabilidad del macizo rocoso depende, de la sección de excavación subterránea; en las que actúan directamente los sistemas de discontinuidades dominantes, en cada caso. A menor sección se mantiene más estable, si la clasificación es roca buena; no requiere instalar, ninguna medida de sostenimiento por lo menos hasta diez años (López Jimeno C. 1997).

## CAPITULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3. MATERIALES Y METODOS

##### 3.1. GENERALIDADES

La caracterización geomecánica del macizo se llega a identificar, en los testigos de perforación diamantina en la veta Sangre de Toro I y II; de logra la evaluación, en base al comportamiento de los parámetros geomecánicos, están directamente relacionados al grado de fracturamientos, controlados por los principales sistemas de discontinuidades, que llegar a determinar la calidad del tipo de roca a lo largo de la galería de desarrollo, sobre la estructura mineralizada. El resultado de la investigación del tipo de roca en la veta es favorable, para continuar, con la excavación en los frentes de avance y la búsqueda de valores altos en los clavos mineralizados, que llegaría a prolongar la vida útil del yacimiento aurífero. La mineralización en la unidad minera La Soledad - Chalhuane, veta Sangre de Toro I y II, en esta región está relacionada genéticamente a las intrusiones del Batolito de la Costa, al Complejo Bella Unión, a diques de composición calco-alcalina y a unos conjuntos de intrusiones posteriores, que llegan a cortar a las primeras formaciones geológicas. Estructuras mineralizadas que se encuentran emplazadas en rocas plutónicas. Unidades litológicas que corresponden a la Grupo Yura del Jurásico superior como roca basamento y superpuesta por el volcánico Nazca.

Las rocas plutónicas se consideran como roca metalotecto, en la franja metalogénica Nazca – Ocoña; en las que se ha caracterizado estructuras vetiformes, paralelos a la estratificación. Los eventos de mineralización son relacionados a más de tres pulsaciones magmáticas que trajeron los fluidos acuosos auríferos acidificados por el metasomatismo del ion hidrogeno; resultado de ésta actividad geoquímica se tiene la mineralización de algunos clavos mineralizados (en los diferentes niveles se encuentran asociados a alteraciones de la roca de caja) con valores de 10 – 15 gr/t, como promedio. De tal manera en la zona de lixiviación el oro se encuentra en óxidos de Fe y minerales como jarosita, caolinita y clorita como indicadores, en este yacimiento.

### 3.2. UBICACIÓN Y ACCESO

Las propiedades de Minera La Soledad, se ubican entre las Quebradas de Chalhuane, Purimarca y San José entre las alturas de 1,400 a 2,000 metros sobre el nivel de mar. La zona pertenece políticamente al Distrito de Andaray, Provincia de Condesuyos, Región de Arequipa. El acceso es mediante carretera Arequipa – Aplao – Chuquibamba – Alpacay - Chalhuane de 310 Km en 8 horas. También por Arequipa-Ocoña-San Juan de Chorunga de 326 Km (ver cuadro 3).

**CUADRO N° 4 VÍAS DE ACCESO**

Desde	Hasta	Distancia en Km	Tipo de vía
Arequipa	Aplao		Asfaltada
Aplao	Chuquibamba		Afirmado
Chuquibamba	Alpacay – Chalhuane		Afirmado
Alpacay-Chalhuane	Mina		Trocha carrozable
Total		326.00	

Fuente: elaboración propia Bch. Pilar Fernández, julio del 2017.

### 3.3. CONDICIONES CLIMÁTICAS

El clima de la zona en estudio es muy variado y esto se debe en especial, a la diferencia de cota, la cual se relaciona también con la distancia del Océano Pacífico. Igualmente, juega un papel importante la configuración del terreno y las diferentes estaciones del año.

En la faja litoral y en la cadena Costanera, el clima es templado y húmedo, la mayor parte del año esta nublado y ocasionalmente se producen finas precipitaciones que dan lugar al crecimiento de pasto cubren una gran parte de las quebradas y en mínima proporción en la superficie, entre los 1200 y 1800 m.s.n.m. se presentan nubes del tipo estratocúmulo que cubre toda el área dificultando la visibilidad. A nivel del mar, el viento es fuerte llevando consigo arenas de la playa contigua. Durante los meses de verano el calor es considerable alta y el clima se trona cálido. Es desértico en invierno con cambios de temperaturas fuertes entre el día y noche, con neblinas débiles y verano mayor densidad de nubes con ocasionales lluvias finas.

En las peneplanicies situadas entre los 1800 y 3000 m.s.n.m. el clima es seco, constituyendo una zona árida, donde las lluvias se restringen a los meses de enero, febrero y marzo. Encima de los 3000 m.s.n.m. que es la altura media de la veta Sangre de Toro, el clima es frío, con un invierno seco y un verano lluvioso. En invierno, durante la noche la temperatura baja y el frío son intensos, produciéndose las heladas.

En este lugar la vegetación es rala y se circunscribe a hierbas anuales de vida efímera, dominando las gramíneas, así como arbustos, subarbustos y cactáceos de los géneros *Cereus* *Opuntia*. Se puede puntualizar al “*Cereus Candelaris*”, que presenta una forma de candelabro gigante, “*Opuntia subulata*” y “*Fraseria fructicosa*”, que crece en forma dispersa o entremezclada con otras plantas, entre las lomas.

### **3.4. GEOLOGÍA DEL ÁREA DE INVESTIGACIÓN**

El afloramiento compuesta de granodioritas de textura holocristalina, porfídica con fenocristales idiomorfos de plagioclasas, cuarzo, augitas y biotitas, roca que se considera como basamento parte de la estructura mineralizada en las proximidades de la veta Buenos Aires, parte de la quebrada Chalhuane y Soledad caracterizado por un afloramiento de un pórfido diorítico en forma circular, de grano medio a grueso y se encuentra fuertemente argilizado en superficie, con presencia de minerales como; hematitas-limonitas, esta diorita se encuentra cortada por diques dioríticos más recientes y también aplíticos.

Las rocas volcánicas se presentan como pequeños afloramientos aislados, con techos recubiertos a las unidades precedentes especialmente sobre las rocas plutónicas, principalmente en la parte N NW y S SE, litológicamente constituida por tufos riolíticos-dacíticos con presencia de fenocristales de biotita y vidrio volcánico, de color marrón claro-rojizo. Presenta un grado de compactación variable y textura homogénea, con disyunción angular. Se correlaciona con los volcánicos Sencca de edad Plioceno inferior-medio.

Los depósitos aluviales se encuentran a lo largo de las quebradas Chalhuane, Chojonque, Esbilla, San José, estas quebradas muestran un fuerte dinamismo en la época de lluvias, produciendo constantes huaycos en época de lluvia.

El área Chalhuane encierra un sistema pórfido Cu- vetas Au el cual está metalogénicamente ubicado en la bien conocida Franja Aurífera Regional Nazca – Ocoña. El depósito aurífero es mesotermal, y está rodeado de minas cercanas auríferas como San Juan de Chorunga que ha producido ya cerca de un millón de onzas y la mina Apacay cuya producción histórica está por encima de 150 mil onzas.

Este proyecto está cubierto por 3,893 hectáreas en las cuales ocurre un agregado de aproximadamente 4 km de vetas con clavos mineralizados de alta ley. Sobre la estructura se distribuyen las vetas; como Buenos Aires y La Española, ocupan el halo externo del sistema porfídico, mientras que las vetas Sangre de Toro, Yudith, El Viento, Santa Rosa ocurren dentro de rocas plutónicas como granodioritas, dioritas y tonalitas Otras vetas como vetas; Ubaldina, Santa Rosa, Victoria, también ocurren en rocas de textura porfídicas, alejados del halo principal de alteración del pórfido, dentro el área de la mina La Soledad – Chalhuane.

Las fallas geológicas, que predominan, en el área de investigación tienen una orientación del dominio andino; entre los principales se ha caracterizado dos fallas; de rumbo N 30° W con ligeras variaciones a una oriental E – W; seguido por sistema fracturamiento mas locales de rumbo

N 55° W con variables en la dirección E – W; con un buzamiento de 64° – 85° hacia el noreste. Estos dos sistemas de fallas tienen una longitud promedio de hasta 2.00 Km. Hay sistema de fallas locales que tienen un rumbo en la dirección NE; son cortas y muy pocas veces con relleno de mineral.

### 3.5. TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

Por el presente de trabajo de investigación de identificación de las unidades geológicas y la caracterización geomecánica en el yacimiento, se realiza mediante un análisis explicativo y descriptivo de la geología y el comportamiento geomecánico del macizo rocoso en las diferentes perforaciones diamantinas realizadas sobre las estructuras mineralizadas en la Empresa minera; se ha considerado las siguientes fases:

**Fase 1. Recopilación de información básica;** revisión, selección e interpretación de los datos existentes, como base de datos de la geología regional publicados por INGEMMET, que corresponden a la metalogénica Mesozoica del Sur del Perú; otros estudios previos de la Empresa Minera La Soledad – Chalhuan, de la súper unidad Bella Unión, Tiabaya e Incahuasi.

**Fase 2. Trabajo de campo.** Labor que desarrollo el cartografiado de las unidades litológicas en la dirección del afloramiento de las diferentes estructuras mineralizadas que se encuentran emplazadas en rocas plutónicas. Muestreo y toma de datos de rocas para el análisis petrográfico (identificación de los minerales principales, el tipo de textura, minerales de alteración y presencia de minerales opacos). Toma de datos para la caracterización geomecánica del macizo rocoso; que consiste en resistencia uniaxial, índice de designación de la calidad roca (RQD), rumbo y buzamiento de los principales sistemas de discontinuidades, el tipo relleno que se encuentran entre los planos de juntas, el grado de rugosidad y la separación de las juntas; datos que se registran en hoja de reporte. Finalmente se cooperará en el logueo de

los testigos de perforación diamantina que se ha realizado en la Empresa Minera.

### **Fase 3. Procesamiento e interpretación de datos en gabinete.**

Análisis y evaluación de las características geológicas (se logran detallar en un plano base el mapeo geológico a una escala adecuado para los reportefinales, de las diferentes unidades litológicas identificadas, zonas de rocas alteradas, mapeo de las orientaciones de las estructuras mineralizadas existentes). Con el registro lineal en el análisis y valuación geomecánica; se lograra determinar el comportamiento y la clasificación geomecánica del macizo rocoso; evaluados con los reportes de las perforaciones diamantinas ejecutadas. Con la clasificación geomecánica obtenida proponer las medidas de sostenimiento en las zonas de inestabilidad en el macizo rocoso.

### **3.6. Identificación estructuras geológicas en perforación**

Ya sea mediante el análisis de los testigos de perforación o durante la ejecución de los trabajos en el campo, la obtención de las características de los medios rocosos y el comportamiento de los parámetros geomecánicos en las estructuras de la roca de basamento de granodioritas y dioritas en la mina La Soledad – Chalhuane, ubicados en la veta Sangre de Toro I y II.

De modo general el afloramiento del macizo rocoso está ubicados en ambientes geológicos en las condiciones del terreno a estudiar es susceptible a pesar de la aparente homogeneidad de la roca, existen infinidad de discontinuidades (planos de fisuras, fracturas, diaclazamientos, etc) que representan zonas de debilidad de la masa rocosa y que afectan adversamente a su comportamiento mecánico.

Los análisis que acercan de las rocosas se pretenden hacer en medios como el antes citado no se puede ignorar la presencia de las discontinuidades naturales que caracterizan las condiciones geomecánicas de la masa rocosa, afectados por las diferentes actividades orogénicas que se produjeron hasta la actualidad, en el medio en que vivos. Las discontinuidades que consisten en general en el

macizo rocoso, en un sistema más o menos espaciado de fracturamientos y planos de debilidad; entre los cuales se pueden citar: fracturas, fisuras, planos de estratificación, esquistosidades, diaclasas, fallas, zonas de brecha, cavidades, plegamiento, sobre – escurrimiento y otros sistemas de discontinuidades.

Las referidas discontinuidades en el medio rocoso, generalmente se encuentran rellenas de materiales in-consolidados y sueltas entre los espacios vacíos que se han producido por la actividad de los sistemas de discontinuidad; así como arcillas, limo, roca triturada, brechas, etc. Todas estas características geomecánicas influirán directamente en el comportamiento y estabilidad del macizo rocoso. Las perforaciones diamantinas permitirán caracterizar las discontinuidades a lo largo de los tramos en investigación sobre la veta Sangre de Toro I y II; para determinar la calidad de roca, su permeabilidad; entre su resistencia al esfuerzo uniaxial; estas investigaciones se hacen para las fundaciones de obras civiles en la evaluación de macizos rocosos.

### **3.7. Métodos de investigación sobre el macizo rocoso**

El desarrollo de la mecánica de rocas se inicia como consecuencias de la utilización del medio geológico para obras de ingeniería superficiales, subterráneas, galerías de desarrollo y de exploración; durante la fase de perforaciones diamantinas en exploraciones de yacimientos de valor económico o investigación del tipo de roca; para el diseño de medidas de sostenimientos en excavaciones subterráneas. Existen, además, una gran variedad grande de formas de comportamiento del macizo rocoso y la evaluación de la resistencia del macizo rocoso, se debe tener en cuenta las condiciones geológicas básicas en la identificación de sistemas de discontinuidades. Por lo tanto, es claro que en el diseño de la excavación en roca se requiere una operación estrecha entre las especialidades de geología, civil y minera; quienes proponen el método adecuado de excavación según la calidad de roca; las medidas de sostenimiento, instalaciones subterráneas. En los testigos de perforaciones diamantinas, se logra determinar el dominio de los

principales sistemas de discontinuidades dominantes en la deformación del macizo rocoso; datos que se logra a investigar realizando el mapeo taxonómico y registro lineal del sistema de discontinuidades que llegan a deformar, durante el desarrollo de la galería de exploración; entre ellos las juntas y fallas, son los principales planos que crean cuñas de caída y la inestabilidad del macizo, en los niveles más profundos en la veta Sangre de Toro I y II.

La evaluación del macizo rocoso se realiza en los testigos de perforación diamantina en las vetas de Sangre de Toro I y II; en cada una de los tramos o corridas, puestas en los portatestigos, se logra a identificar los parámetros geomecánicos y son evaluados en base con los parámetros propuestos por Bieniawski (1976), sistema de valoración de macizo rocoso (Rock Mass Rating) comúnmente denominado RMR, cuyo procedimiento consta de los siguientes parámetros:

1. Resistencia a la compresión uniaxial del material rocoso
2. Índice de calidad de roca RQD
3. Espaciamiento de las juntas
4. Estado de las fisuras
5. Condiciones hidrogeológicas de las aguas subterráneas
6. Corrección por la orientación de las discontinuidades

$$RMR = \sum_1^5 \text{Parámetros geomecánicos} - \text{Buzamiento discontinuidades}$$

Estos parámetros geomecánicos son evaluados en cada una de las corridas y recuperación de los testigos de perforación diamantina antes y durante los vertidos o la colocación de cores en las respectivas cajas o portatestigos, separadas por progresivas.

### **3.7.1. Resistencia a la compresión uniaxial de los testigos**

La resistencia a la compresión simple de las paredes de las discontinuidades, depende del tipo de matriz rocosa, de la

existencia del tipo de relleno, del grado de alteración de las paredes de las juntas; estas condiciones influyen en la resistencia al corte y en la deformabilidad del plano de discontinuidad, sobre todo cuando presentan relleno de arcillas entre los planos.

La resistencia de los planos de discontinuidades viene dada por el criterio de ruptura de Mohr – Coulomb, y se determina en el ensayo de resistencia al corte en probetas talladas, de tal forma que la ruptura se produzca a favor del plano de discontinuidad; además se utiliza el criterio del golpe el martillo de Schmidt; que consiste en aplicar el número de golpes y obtener los valores del rebote del instrumento; generalmente se aplica en una superficie plana y uniforme, que consiste en aplicar un número de 9 golpes distribuidos uniformemente.

Los valores obtenidos de los datos de rebote del golpe de martillo de Schmidt sobre la superficie de las pizarras en cada una de las estaciones zonificadas, para calcular los valores de resistencia de compresión uniaxial; en la estación 5 en la profundidad de 0 + 750, de la veta Sangre de Toro I, el resultado es de 42.6, 43.52, 44.5, 42.26, 40.56, 41.48; los otros seis valores aleatorios han sido eliminados para obtener el promedio; cuyo valor es de 42.49, para un peso específico de  $27 \text{ KN/m}^3$ , datos que corresponden a las granodioritas, dioritas y monzo-dioritas.

Interpolando en el ábaco de correlación de resistencia del martillo de Schmidt, se tiene un valor de 100 MP. Este dato sirve para calcular el valor de RMR e índice de resistencia geológico (GSI), lograr la clasificación geomecánica del macizo rocoso, según el tipo de roca en las distintas profundidades de perforación diamantina y desarrollo de las galerías subterráneas; con o sin medidas de sostenimientos (Alfaro, S.J.M. (2000).

TABLA 1 ÁBACO DE CORRELACIÓN DE LOS GOLPES DE MARTILLO DE SCHMIDT

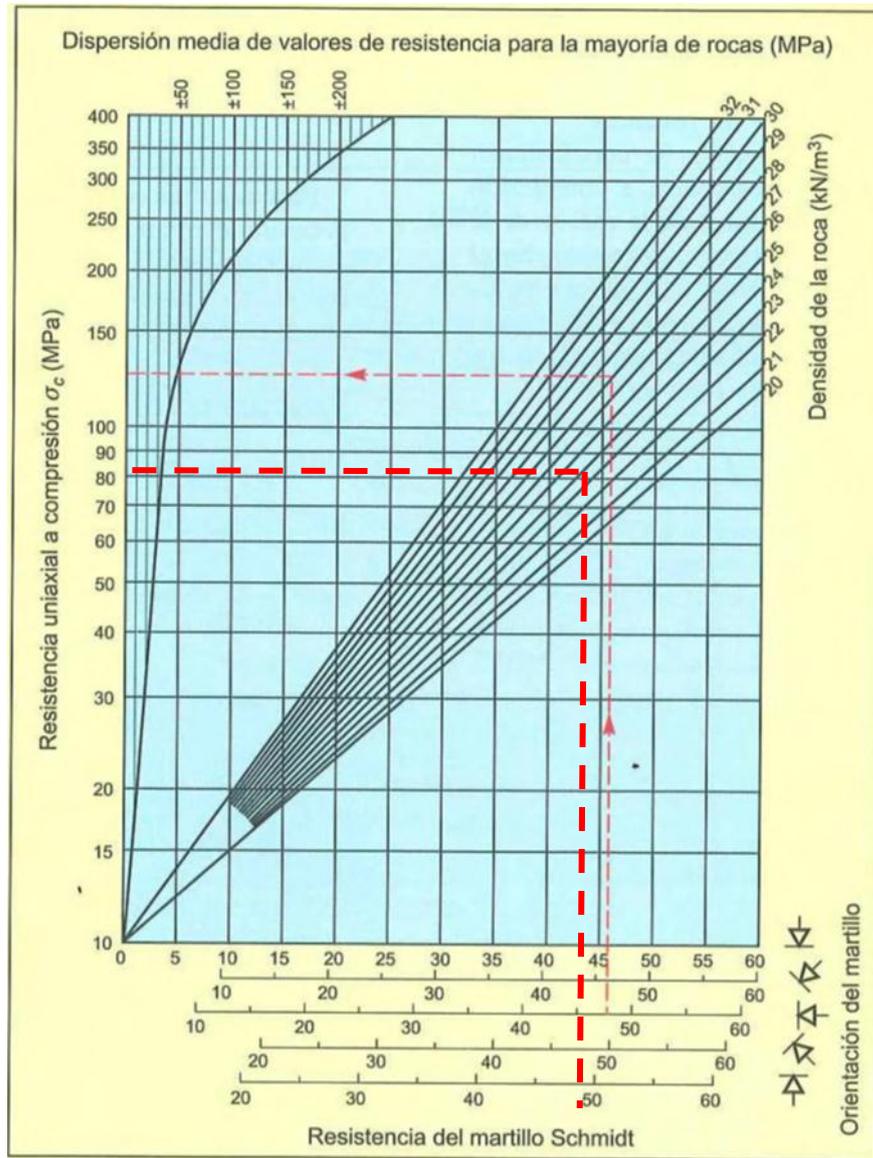


Figura 4. Abaco de correlación. Fuente. Luis I Gonzales de Vallejo. Ingeniería Geológica 2002.

### 3.7.2. Índice de designación de calidad de roca (RQD)

El índice de calidad de roca, en las estaciones zonificadas en las perforaciones diamantinas sobre las vetas Sangre de Toro I y II, de la Mina La Soledad - Chalhuane, se han evaluado, mediante el análisis de una ecuación diferencial; el grado de fracturamiento es medido por metro lineal, en el hastial derecho; además se ha analizado en la bóveda central el distanciamiento entre junta a

junta; en las que se producen cuñas de caída libre, son poco estables, datos que son obtenidos en el mapeo de registro lineal.

Además, se ha usado un análisis de variación de curva de ajuste de RQD comparativa; para el diseño de la galería de desarrollo, durante las excavaciones subterráneas son evaluadas para determinar el comportamiento del macizo, tanto en excavaciones subterráneas, como en superficie del afloramiento del macizo rocoso. Para calcular el índice de calidad de roca RQD, se ha utilizado una ecuación diferencial propuesta por Priest y Hodsson 1976; en donde, se considera el número de discontinuidades por metro lineal.

RQD	99.53	98.25	96.31	93.85	90.98	87.81	84.42	80.88	77.25	73.58	
$\lambda$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
RQD	69.90	66.26	62.68	59.18	55.78	52.49	49.32	46.28	43.37	40.60	0.05
$\lambda$	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	100

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

De donde;  $\lambda$  = Número de juntas por metro lineal

RQD permite dar un valor numérico a la calidad de roca, de acuerdo a las condiciones geológicas existentes dentro de la galería de desarrollo; en la mayoría de las investigaciones hechas, en la evaluación del macizo rocoso se trata de relacionar el número de juntas por metro lineal con la clasificación cualitativa de Terzaghi y relacionar este valor modificando en valor de RQD.

Una de los métodos de determinación el índice de designación de la calidad de roca RQD, en la evaluación de testigos de perforaciones diamantinas; consiste en la sumatoria de los fragmentos mayores de 10 cm, sobre la profundidad total de perforación en los sondeos de perforación diamantina

programadas sobre las estructuras mineralizadas. Esta técnica se ha usado para contrastar, los valores obtenidos a lo largo de las diferentes corridas en la recuperación de los testigos de perforación sobre la veta Sangre de Toro I y II.

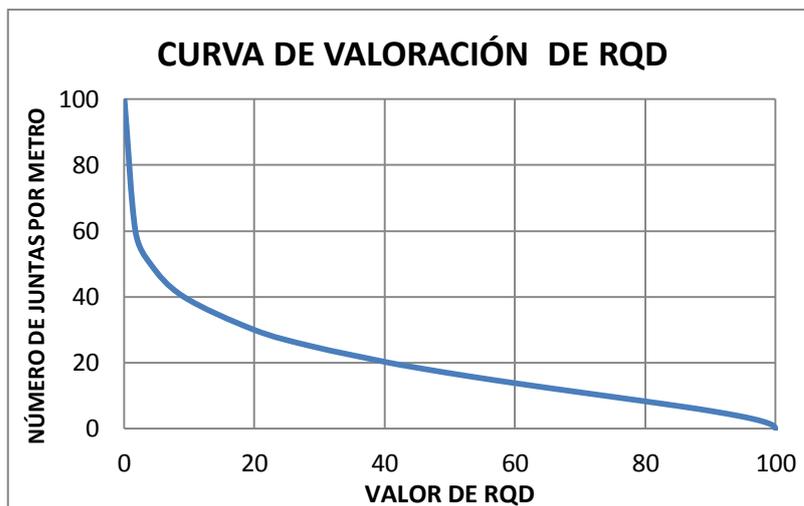


Gráfico No. 1. Curva de valoración de índice de calidad de roca.

$$RQD = \frac{\sum_{10}^n \text{fragmentos de roca mayores de 10 cm}}{\text{Profundidad total de perforación}}$$

De esta ecuación se deduce, los valores de que observan en el cuadro N° 4, propuesto por Deere, 1964, puedan ser utilizados en la evaluación del macizo rocoso, en comparación con el método lineal de análisis de los sistemas de discontinuidades dominantes.

**CUADRO N° 5 RANGO DE VALORES DE CALIDAD DE ROCA**

RQD	CALIDAD DE ROCA
25 %	Muy mala
25 – 50 %	Mala
50 – 75 %	Regular
75 – 90 %	Buena
90 – 100 %	Muy buena

Fuente: Deere, 1964. Valores de índice de calidad de roca.

Los valores obtenidos en las perforaciones diamantinas sobre la veta Sangre de Toro I y II, se determinan; analizando por siete estaciones zonificadas de acuerdo a la calidad de testigos y la recuperación de los mismos, en cada uno de los sondeos ejecutados, para valorar el tipo de roca entre las diferentes profundidades; considerando la designación del índice de la calidad de roca para la clasificación geomecánica del macizo rocoso en granodioritas y dioritas varían entre 69 a 84 de RMR.

### **3.7.3. Espaciamiento de las juntas**

La clasificación geomecánica propuesta por CSIR, para macizos rocosos fracturados, propone rango de valores; consiste en la medida de la distancia entre dos juntas o familias de discontinuidades sucesivas de una misma sección mapeada, perpendicular al plano de juntas.

Las granodioritas, dioritas y monzo-dioritas, ha sufrido fracturamiento debido a la tectónica Andina bien marcadas en la zona; las juntas están espaciadas de 15 cm hasta 40 cm, mientras que en las zonas menos fracturada de 0.50 m hasta 3 m, zonas que son muy puntuales, los que se consideran de acuerdo a la clasificación geomecánica roca tipo I (RMR = 84) como máximo y en el tramo inicial portal de acceso se tiene una roca de tipo II (RMR = 69), valor requiere sostenimiento adecuado de concreto lanzado más cimbras de acuerdo al tiempo de permanencia. Para la valoración se usan los cuadros de RMR y sistema Q de Barton.

### **3.7.4. Estados de las fisuras**

Parámetro que considera el grado de alteración de la familia de las discontinuidades; en el caso de las granodioritas y dioritas son rellenadas y alteradas con limos, roca triturada, relleno de óxidos y sílice en algunas fracturas cerradas. La mayoría de las

superficies de los planos de junta son rugosas. El relleno que se presenta en la zona de fallas son generalmente sericitas y caolinitas en cada una de los taladros de perforación diamantina; minerales que se consideran como arcillas expansivas, cuando su grado de saturación supera a los límites máximos permisibles.



Figura 5. El grado de alteración en esta corrida, es mínima, entre los planos de sistemas de discontinuidades, solo se observan sericitas y rocas triturada. La roca es sana, que corresponde a la profundidad de 75.30 – 79.00 m.

### 3.7.5. Condiciones hidrogeológicas en la galería de exploración

Uno de los parámetros geomecánicos de mucha importancia en la excavación de obras subterráneas, para caracterizar se determinan algunos rangos de valores, en cada obra de acuerdo a las condiciones geológicas de la roca de basamento y su ubicación geográfica.

Son valores que se consideran para determinar el comportamiento de la matriz rocosa frente a los flujos de agua subterránea que existen en los tramos excavados; en las estaciones zonificadas. Rango que se determina del estado seco hasta grandes caudales o flujos de filtraciones de agua. Para dar el valor en casos de exploraciones y desarrollo de túneles o galerías, se aforan las filtraciones de agua. El aforo se realiza con mediciones de caudal de goteos, con pequeños recipientes

milimetrados; para el caso de la mina en las excavaciones subterráneas se observan poca filtración (Alfaro, S.J.M. (2000).

En las granodioritas y dioritas, las filtraciones de flujos de aguas subterráneas son muy puntuales en las zonas de mayor fracturamiento y fallamiento. Se observan en el sistema de clasificación según Barton. Algunos de estos flujos son cargados de soluciones acuosas y óxidos; los cuales corroen la matriz rocosa; en las que se observan zona de debilidad y se deben instalar medidas de sostenimiento, durante y después de las excavaciones programadas.

### **3.7.6. Densidad de las discontinuidades**

Es la cantidad o frecuencia de discontinuidades que afectan la deformación del macizo, para su medida se emplea como índice básico, el intervalo de discontinuidades propuesta en la identificación directa; como se pueden detallar en los diferentes frentes de perforación diamantina, que varían en profundidades de programadas desde 25 m hasta más de 250 m de profundidad; en las que también se puede usar el número de discontinuidades, para caracterizar el estado y la calidad de macizo rocoso; solamente considerado en intervalo de discontinuidades, para cada una de las perforaciones diamantinas programadas; la calidad de roca es más consistente.

En los diferentes sondajes de perforación diamantina, se han analizado que la densidad de discontinuidades, están clasificados en tres sistemas principales, en diferentes direcciones; se han controlados e elaborados registros de caracterización, que consisten en detallar la cantidad suficiente, para determinar la clasificación geomecánica de la roca, realizar las obras de excavación y corte los resultados obtenidos.

**CUADRO N° 6 DENSIDAD DE DISCONTINUIDADES**

CLASES	INTERVALO ENTRE DISCONTINUIDADES (cm)	DENSIDAD DE DISCONTINUIDADES
ID 1	$\geq 200$	Muy baja, roca buena
ID 2	60 – 200	Baja
ID 3	20 – 60	Media
ID 4	6 – 20	Alta
ID 5	$\leq 6$	Muy alta, roca mala

Fuente: Tesis, Túnel Taya Taya, 2001



Figura 6. Testigos de perforación diamantina del sondeo DD-SR-01-16, muestra una roca de muy buena calidad, que corresponde a la profundidad de 108 112.55 m con una alteración argílica y propilítica; con dos sistemas de discontinuidades dominantes.

En la mayoría de las familias de sistema de discontinuidades, tienen una alta frecuencia de continuidad de las juntas; considerando esta característica física se concluye que la roca es regular a buena, con pequeñas zonas de alteración en las granodioritas; sobre todo en las zonas de flujos aguas subterráneas. La investigación de recursos minerales de valor económico en la veta Sangre Toro I y II, está cargo del departamento de geología de minas.

### 3.7.7. Condiciones hidrogeológicas

Uno de los parámetros geomecánicos de mucha importancia en la excavación de obras de ingeniería en perforaciones diamantinas

programadas; las ocurrencias de los niveles freáticos, son controladas durante el proceso de avance y son medidos mediante una sonda; que indica la profundidad el nivel dinámico de los flujos de aguas subterráneas y la calidad de agua; su ocurrencia es muy esporádico. Para caracterizar se determinan algunos rangos de valores, en cada obra de acuerdo a las condiciones geológicas de la roca de basamento y su ubicación geográfica; en las quebradas próximas de Sangre Toro I; el caudal de flujos de aguas subterráneas y superficiales aumenta en periodos de fuertes precipitaciones; que no se puede controlar; en vista que los depósitos coluviales absorben, las aguas de escorrentía de superficie, llegan a formar depósitos inestables.

Son valores que se consideran para determinar el comportamiento de la matriz rocosa frente a los flujos de agua subterránea que existen en los tramos perforados, en los diferentes sondeos. Rango que se determina del estado seco hasta grandes caudales o flujos de filtraciones de agua. Para dar el valor en casos de exploraciones y desarrollo de talud de corte y excavaciones subterráneas, se aforan las filtraciones de agua; cuando los caudales aumentan, se conducen a un vertedero.

### **3.7.8. Ajuste por orientación de las discontinuidades**

Para caracterizar, la orientación de las discontinuidades es necesario tener orientado el sentido de la galería de excavación subterránea; seguidamente son verificados, si los planos de discontinuidades principales son favorables o desfavorables, para la estabilidad de la sección excavada.

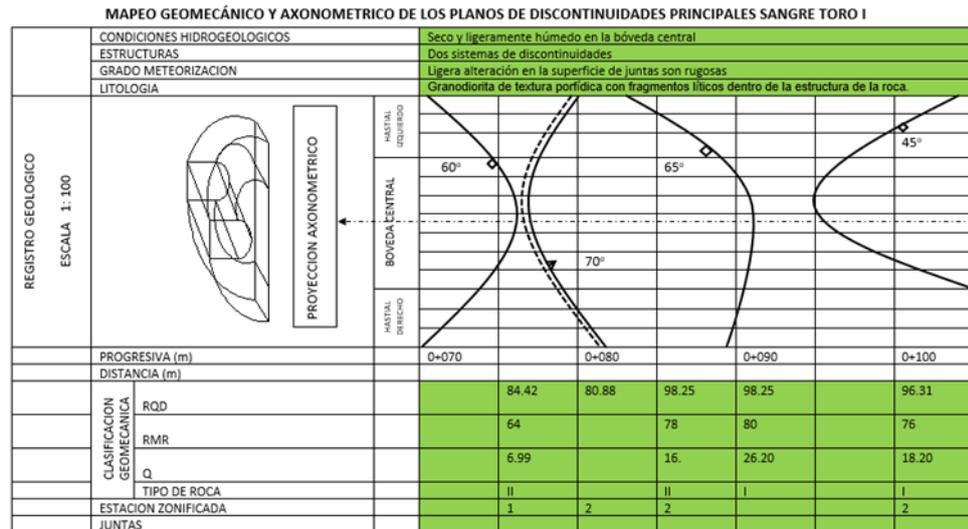


Figura 7. Mapeo taxonómico en labores subterráneas, veta Sangre Toro I.

En función de los valores obtenidos de rumbos y buzamientos de juntas se analiza rápidamente (ver cuadro N° 7 y 9, para realizar los cálculos); para posteriormente diseñar las medidas de sostenimiento adecuado para instalar en las zonas inestables de la sección de la galería. Las más críticas son las que se encuentran en contra a la dirección de excavación; detalles que pueden observarse en el mapeo axonométrico de la galería de desarrollo y exploración; proyectadas desde las perforaciones diamantinas.

**CUADRO N° 7 CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA CSIR DE ROCA FISURADA  
CLASIFICACIÓN DE LOS PARÁMETROS Y SU VALORACION**

Parámetros			Escala de valores						
1	Resistencia de la matriz rocosa (MPa)	Índice de la carga puntual	≥ 10	10 – 4	4 – 2	2 – 1	Resistencia baja		
		Compresión simple (MPa)	≥ 250	250 – 100	100 – 50	50 – 25	25-5	5-1	≤ 1
	Valoración		15	12	7	4	2	1	0
2	Índice de calidad de roca (%)		100 – 90	90 – 75	75 – 50	50 – 25	25 – 0		
	Valoración		20	17	13	8	3		
3	Espaciamientos de juntas (m)		≥ 3	3 – 0.60	0.60 – 0.20	0.20 – 0.060	≤ 0.060		
	Valoración		25	20	12	8	5		
4	Estado de las juntas	Longitud de discontinuidad (m)	≤ 1	1 – 3	3 -10	10 – 20	≥ 20		
		Valoración	6	5	2	1	0		
		Abertura (mm)	Sin abertura	≤ 0.10	0.10 – 1.00	1.00 – 5.00	≥ 5.00		
		Valoración	6	5	3	1	0		
		Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente	Ondulada	Suave		
		Valoración	6	5	3	1	0		
		Relleno (mm)	Ninguno	Relleno duro ≤ 5	Relleno duro ≥ 5	Relleno blando ≤ 5	Relleno blando ≥ 5		
		Valoración	6	5	2	2	0		
		Alteración	Inalterada	Ligeramente	Moderadamente	Muy alterada	Descompuesta		
		Valoración	6	5	3	1	0		
Valoración total		30	25	13	6	0			
5	Agua subterránea	Cantidad de filtración por 10 m de túnel	Ninguna	≤ 10 lit/min	10 -25 lit/min	25 – 125 lit/min	≥ 125 lit/min		
		Presión de agua o en la fisura	Cero	0.0 – 0.1	0.1 – 0.2	0.2 – 0.5	≥ 0.5		
		Esfuerzo principal o mayor							
		Estado general	Totalmente seco	Ligeramente húmedo	Húmedo	Ligera presión de agua	Serios problemas de agua		
Valoración		15	10	7	4	0			

Fuente: Bieniawski, 1979, Mecánica de rocas; tomada del libro de Excavaciones subterráneas.

**CUADRO N° 8 AJUSTE POR ORIENTACIÓN DE DISCONTINUIDADES**

Dirección y buzamiento de las fisuras		Muy favorables	Favorables	Regular	desfavorables	Muy desfavorables
	Túneles	0	- 2	-5	-10	-12
	Cimentaciones	0	-2	-7	-15	-25
	Taludes	0	-5	-25	-50	-60

Fuente: Bieniawski, 1979

**CUADRO N° 9 CLASIFICACIÓN DE ROCAS SEGÚN EL TOTAL DE VALORACIÓN**

Valoración	100 – 81	80 – 61	60 – 41	40 – 21	≤ 20
Clasificación	I	II	III	IV	V
Calidad	Muy buena	Buena	Roca regular	Roca mala	Muy mala

Fuente: Bieniawski, 1979

**CUADRO N° 10 CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS DEL TIEMPO DE AUTO-SOSTENIMIENTO**

Clasificación de roca	I	II	III	IV	V
Tiempo medio de sostenimiento	10 años para un claro de 5 m	6 meses para claro de 4 m	1 semana para claro de 3 m	5 horas para claro de 15 m	30 minutos para claro 1 m
Cohesión (KPa)	≥ 400	300 – 400	200 – 300	100 – 200	≤ 100
Angulo de fricción en grados	≥ 45°	40 – 45°	25° – 35°	15° – 25°	≤ 15°

Fuente: Bieniawski, 1979.

**CUADRO N° 11 ORIENTACIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES EN EL TÚNEL**

Dirección perpendicular al eje del túnel				Dirección paralela al eje del túnel		Buzamiento de 0° – 20° cualquier dirección
Excavación en el sentido del buzamiento del echado		Excavación en contra al buzamiento del echado				
45° – 90°	20° – 45°	45° – 90°	20° – 45°	45° – 90°	20° – 45°	
Muy favorable	Favorable	Regular	Desfavorable	Muy desfavorable	Regular	Desfavorable

Fuente: Bieniawski, 1979.

La caracterización geomecánica y se propongan los modelos geomecánicos más representativos del comportamiento de los macizos rocosos teniendo en cuenta sus características mecánicas y estructurales, tal vez justificado por el creciente auge que han alcanzado en nuestro país, región, en los últimos años, las clasificaciones geomecánicas (Deere, Barton, etc.), dando lugar a que los estudios geomecánicos actuales, en excavaciones subterráneas en galerías, su-niveles; entre otros galerías de producción. Solo se limitan a clasificar las rocas por estas metodologías, sin llegar al modelo geomecánico, en muchos casos.

Sin embargo, resulta evidente la necesidad de profundizar en los aspectos relacionados con la temática objeto de estudio, con los

resultados del logueo de perforaciones diamantinas en los diferentes de la mina en producción; no solo por la importancia de la diferenciación de la calidad de la roca; para el estudio de los macizos partiendo de sus características geomecánicas, sino también, para adecuar las investigaciones geomecánicas futuras, según esta nueva tendencia.



Figura 8. Testigos de perforación diamantina sobre la estructura mineralizada de la veta Esperanza, que corresponde una roca de nueva calidad en la profundidad de 115 – 118.70 m de profundidad con un sistema de discontinuidades dominantes.

Una parte importante de la caracterización geomecánica de los macizos rocosos, lo constituyen sin dudas, las clasificaciones geomecánicas, que surgieron de la necesidad de determinar las estaciones geotécnicas, por cada tipo de roca, que corresponden a la veta Esperanza, sangre Toro I y II; en base al comportamiento de los parámetros geomecánicos y otros datos empíricos; de forma integrada, para evaluar las medidas de sostenimiento en túneles, galerías de acceso, producción y otros fines, e llegan al diseño final y proponer el inicio de las excavaciones subterráneas; sobre la estructura mineralizada con leyes favorables.

Las mismas son un método de ingeniería geológica que permite evaluar el comportamiento geomecánico de los macizos rocosos,

y a partir de estas estimar los parámetros geotécnicos de diseño y el tipo de sostenimiento de un túnel (Palmstrom, 1998). Además de las obras subterráneas, se destacan las aplicaciones en excavaciones subterráneas, taludes y cimentaciones (ver cuadro N° 11 de aplicación de Barton).

**CUADRO N° 12 A CLASIFICACIÓN DE LOS PARÁMETROS INDIVIDUALES EMPLEADOS EN EL ÍNDICE DE CALIDAD DE TÚNELES (NGI)**

DESCRIPCIÓN		VALOR	OBSERVACIONES
1. Índice de calidad de roca		<b>RQD %</b>	1. Cuando se obtiene valores RQD inferiores o iguales a 10, se toma un valor de 10 para calcular el índice Q. 2. Los intervalos de 5 unidades para RQD, es decir, 100, 95, 90, etc., tiene buena presión
A	Muy mala	0 – 25	
B	Mala	25 – 50	
C	Regular	50 – 75	
D	Buena	75 – 90	
E	Excelente	90 – 100	
2. Número de discontinuidades		<b>J<sub>n</sub></b>	1. En intersecciones de túneles se utiliza la expresión (3J <sub>n</sub> ). 2. En el portal de acceso se utiliza la expresión (2J <sub>n</sub> ).
A	Roca masiva, sin diaclazar o con pocas fisuras	0.5 – 1.0	
B	Un sistema de fisuras	2.0	
C	Un sistema de fisuras más una aislada	3.0	
D	Dos sistemas de fisuras	4.0	
E	Dos sistemas de fisuras más una aislada	6.0	
F	Tres sistemas de fisuras	9.0	
G	Tres sistemas de fisuras más una aislada	12.0	
H	Cuatro o más sistemas de fisuras, roca muy fracturada	15.0	
J	Roca triturada	20.0	
3. Índice de rugosidad de las discontinuidades		<b>J<sub>r</sub></b>	1. Añade 1.0 si el espaciamiento medio del sistema juntas es mayor de 3 m. 2. J <sub>r</sub> es igual 0.5 se puede usar para fisuras de fricción plana y que tengan alineaciones con la condición de que éstas estén orientadas para una resistencia mínima.
a) Contacto entre las dos caras de las discontinuidades b) Contacto en las paredes antes de un cizalleo de 10 cm.			
A	Fisura sin continuidad	4	
B	Rugosas o irregulares, corrugadas	3	
C	Suaves, corrugación suave, onduladas lisas	2	
D	Diaclasas onduladas, perfectamente lisas	1.5	
E	Rugosas o irregulares pero planas	1.5	
F	Diaclasas planas o lisas	1.0	
G	Reliz de falla o superficie de fricción, plana	0.5	
C) No existen contacto entre las caras de discontinuidad ante un desplazamiento cortante.			
H	Zona que contiene minerales arcillosos de espesor suficiente para impedir el contacto de paredes.		
J	Zona arenosa, de grava o roca triturada de espesor suficiente para impedir el contacto de paredes.		

Fuente: Bieniawski, 1979.

**CUADRO N° 12 B CLASIFICACIÓN DE LOS PARÁMETROS INDIVIDUALES EMPLEADOS EN EL ÍNDICE DE CALIDAD DE TÚNELES (NGI) CONTINUÍA**

DESCRIPCIÓN		VALOR	$\phi$	OBSERVACIONES
4. Índice de alteraciones de las discontinuidades		$J_a$		Los valores de $\phi$ , el ángulo de fricción residual, se indican como guía aproximada de las propiedades mineralógicas de los productos de alteración, si es que están presentes.
a) Contacto entre los planos de las discontinuidades.				
A	Relleno soldado, duro inablandable, impermeable	0.75	--	
B	Paredes inalteradas, sólo con manchas de superficie	1.0	25 – 35	
C	Paredes ligeramente alteradas con recubrimiento de minerales duros, arena, roca triturada sin arcillas.	2.0	25 – 30	
D	Recubrimientos limosos arenosos arcillosos, pequeñas partículas de arcilla (no blanda).	3.0	20 – 25	
E	Recubrimiento de arcillas blanda o de baja fricción; caolinita o mica. También clorita, yeso, talco, grafito, etc., pequeñas cantidades de arcilla expansiva.	4.0	8 – 16	
b) Contacto entre los planos de las discontinuidades antes de un desplazamiento cortante inferior a 10 cm.				
F	Partículas arenosas, roca desintegrada sin arcilla.	4.0	25 – 30	
G	Relleno de minerales arcillosos muy consolidados e inablandables (continuos $\leq 5$ mm de espesor).	6.0	16 – 24	
H	Relleno de minerales arcillosos de consolidación media baja (continuos $\leq 5$ mm de espesor).	8.0	8 – 16	
J	Relleno de arcilla expansiva, o sea montmorillonita (continuos $\leq 5$ mm de espesor). El valor de $J_a$ del porcentaje de partículas expansivas y acceso del agua.	8.0 – 12	6 – 12	
c) Sin contacto de las paredes después del cizalleo .				
K	Zonas o capas de roca y arcilla desintegrada.	6.0	6 – 24	
L	Roca desintegrada o triturada y arcilla.	0.8 – 12	6 – 24	
M	Roca triturada y arcilla (ver G, H, y J, para la descripción de las condiciones de las arcillas).	0.8 – 12	6 – 24	
N	Zonas o capas de arcilla limosa, pequeñas fracciones de arcilla (inablandable).	5.0		
Q	Zonas o capas gruesas de arcilla (ver G, H, J, para las condiciones de las arcillas).	10 – 13 13 – 20	6 – 24	
P				
R				
5. Condiciones hidrogeológicas		$J_w$	Presión de agua (Kg/cm <sup>2</sup> )	
A	Excavación seca o poca filtración o $\leq 5$ l/min puntual	1.0	1.0	
B	Infiltración o presión mediana con lavado ocasional de rellenos.	0.66	1.0 – 2.5	
C	Gran filtración a presión alta en roca competente con juntas sin relleno.	0.50	2.5 – 10	
D	Gran filtración a presión alta, lavado importante de rellenos.	0.33		
E	Infiltración a presión excepcionalmente alta con las voladuras, disminuyendo con el tiempo.	0.2 – 0.1	10.0	
F	Infiltración o presión excepcionalmente alta en todo momento.	0.1 – 0.05	10.0	

Fuente: Bieniawski, 1979.

**CUADRO N° 12 C CLASIFICACIÓN DE LOS PARÁMETROS INDIVIDUALES EMPLEADOS EN EL ÍNDICE DE CALIDAD DE TÚNELES (NGI) CONTINÚA**

DESCRIPCIÓN		VALOR	OBSERVACIONES		
6. Condiciones tensionales de la roca		SRF			
a) Zona de debilidad que intersectan la excavación y pueden ser la causa de que el macizo se desestabilice cuando se construya el túnel.					
A	Múltiples zonas de debilidad que contengan arcilla o roca químicamente desintegrada, roca circundante muy suelta (cualquier profundidad).	10.0	1. Reduzca estos valores SRF de 25 – 50% si las zonas de fracturas sólo interesan, pero no cruzan la excavación del túnel. 2. Para un campo virgen de esfuerzos fuertemente anisótropos: cuando $5 \leq \sigma_1 / \sigma_3 \leq 10$ , redúzcase $\sigma_c$ a 0.8, $\sigma_c$ y $\sigma_t$ a 0.8. Cuando $\sigma_1 / \sigma_3 \geq 10$ , redúzcase a $\sigma_c$ y $\sigma_t$ a 0.6, de donde $\sigma_c$ fuerza compresiva no confinada, $\sigma_t$ fuerza de tensión (carga puntual), $\sigma_1$ y $\sigma_3$ son las fuerzas mayores y menores.		
B	Zonas de debilidad aisladas que contengan arcilla o roca químicamente desintegrada (profundidad de excavación $\leq 50$ m)	5.0			
C	Zonas de debilidad aisladas que contengan arcilla o roca químicamente desintegrada (profundidad de excavación $\geq 50$ m).	2.5			
D	Múltiples zonas de fracturas en roca competente (sin arcilla), roca circundante suelta en cualquier profundidad.	7.5			
E	Zonas de fracturas aisladas en roca competente (sin arcilla), profundidad de excavación $\leq 50$ m.	5.0			
F	Zonas de fracturas aisladas en roca competente (sin arcilla), profundidad de excavación $\geq 50$ m.	2.5			
G	Fisuras abiertas sueltas, fisuración intensa (cualquier profundidad).	5.0			
b) Roca competente, problemas de esfuerzos					
		$\sigma_c / \sigma_1$	$\sigma_t / \sigma_1$	Hay pocos casos reportados donde el techo abajo de la superficie sea menor que el ancho del claro. Se sugiere que el SRF sea aumentado de 2.5 a 5, para estos casos vea (H).	
H	Esfuerzo bajo, cerca de la superficie	$\geq 200$	2.5		$\leq 13$
J	Esfuerzo mediano	200 – 10	1.0		13 – 0.5
K	Esfuerzo grande, estructuras muy cerradas, normalmente favorable para la estabilidad, puede ser desfavorable para la estabilidad de los hastiales.	10 – 5	0.5 – 2.0		0.66-0.33
L	Desprendimiento moderado de la roca (masiva).	5 – 2.5	5 – 10		0.33-0.16
M	Desprendimiento intenso de la roca (masiva).	$\leq 2.5$	10 – 20		$\leq 0.16$
c) Roca compresiva, flujo plástico de roca incompetente bajo la influencia de presiones altas de la roca.					
N	Presiones compresivas moderadas	5 – 10			
O	Presiones compresivas altas	10 – 20			
d) Roca expansiva, acción química expansiva dependiendo de la presencia de agua.					
P	Presiones expansivas moderadas	5 – 10			
R	Presiones expansivas altas	10 – 20			

Fuente: Bieniawski, 1979.

### 3.8. TÉCNICAS DE CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA

Las clasificaciones más útiles en la caracterización y evaluación del macizo rocoso en mecánica de rocas son las clasificaciones Geomecánicas RMR de Bieniawski y el índice Q de Barton son las más utilizadas. Establecen diferentes grados de calidad de macizo en función de las propiedades de la matriz rocosa y de las discontinuidades, y proporcionan valores estimados de sus propiedades resistentes globales (Bieniawski, 1979).

Existen otras clasificaciones basadas en diferentes parámetros más o menos representativos de las propiedades del conjunto del macizo rocoso. Así como el grado de fracturamiento; el índice de calidad de roca RQD, y clasificación en diferentes grados de calidad, que son analizados en los testigos de perforación diamantina en rocas estables como granodioritas, dioritas. La evaluación de los parámetros geomecánicos en los cuadros N° 6 al 11, que son propuestas por Bieniawski, 1979.

#### 3.8.1. Clasificación RMR

La clasificación RMR (rock mass rating), fue desarrollada por primera vez por Bieniawski en 1973; constituye un sistema de clasificación de macizo rocoso, que permite evaluar el comportamiento de la matriz rocosa y la calidad de la misma con la única finalidad de realizar excavaciones subterráneas para la minería en galerías de desarrollo, túneles de conducción, casas de máquinas; tomando en cuenta todas las propiedades y características geológicas de la matriz rocosa. El comportamiento de los parámetros geomecánicos en la galería de producción; entre otros los niveles superiores e inferiores; están sujetos a la familia de discontinuidades, caracterizados, que suman dos sistemas principales.

### 3.8.2. Sistema de clasificación Q (Barton)

Esta clasificación fue propuesta por Barton, Lien y Luden del N. G. I. (Norwegian geotechnical institute), en 1974, a partir del estudio de un gran número de túneles, constituye un sistema de clasificación de macizos rocosos que permite estimar parámetros geomecánicos, en la observación y evaluación directa in situ de la matriz rocosa en el momento de la excavación subterránea. Consisten determinar el índice de la calidad de roca con los siguientes parámetros geomecánicos, que determinan el comportamiento y la calidad de la roca.

$$Q = \frac{RQD}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a} \times \frac{J_w}{SRF} \quad \text{donde} \quad (\text{ecu. 2})$$

Durante la excavación subterránea; es necesario tener en cuenta, con mucha precaución y criterio técnico para evaluar los detalles de cada una de los sistemas discontinuidades dominantes; desde el tipo de litología hasta el grado de alteración que se presenta en el momento de realizar el diseño de la malla de perforación y otras actividades como la instalación de medidas de sostenimiento. Es necesario tener en cuenta, también las condiciones hidrogeológicas y la profundidad de excavación, la misma que debe estar sujeto a la presión vertical; mucho depende de la orientación de las familias de sistemas de discontinuidades que controlan la estabilidad del macizo.

En la Cordillera Occidental del sur del Perú, el afloramiento del basamento rocoso, caracterizados por el batolito de la costa, que está sujeto a dos grandes periodos de deformación; por lo tanto la calidad de roca es regular a muy buena en tramos poco deformados, por estos eventos; son los posteriores que han llegado a deformar en tres familias de sistemas de discontinuidades, que dan diferentes comportamientos, en cada una de ellas, que han sido sujetos a las ultimas deformaciones de la tectónica andina.

### 3.8.3. Sistema de clasificación GSI

La clasificación geomecánica GSI (Hoek, 1994; Hoek et al. 1995) se basa en las propiedades geomecánicas del macizo rocoso a partir de observaciones geológicas de campo. Las observaciones se basan en la apariencia del macizo a nivel de estructura y a nivel de condición de la superficie. A nivel de estructura se tiene en cuenta el nivel de alteración que sufren las rocas, la unión que existe entre ellas, que viene dada por las formas y aristas que presentan, así como de su cohesión. Para las condiciones de la superficie, se tiene en cuenta si ésta está alterada, si ha sufrido erosión o qué tipo de textura presenta, y el tipo de recubrimiento existente. Esta clasificación se basa en los valores de GSI que varían desde de 1 hasta 100.

Los valores de GSI cercanos de 1 corresponden a las situaciones del macizo rocoso de menor calidad, es decir superficie muy erosionada, con arcilla blanda en las juntas y con estructura poco resistente debido a la gran fragmentación que sufre el macizo. Los valores de GSI cercanos a 100 implican roca de muy buena calidad, ya que significa una estructura marcada por una pequeña fragmentación en la que abundan las formas prismáticas y superficie rugosa sin erosión; dentro de la evaluación del macizo en la galería de desarrollo principal; a pesar de ello a unos 200 m en profundidad las condiciones del macizo son muy buenas según el reporte de las perforaciones en los diferentes sondeos analizados. Caso contrario en tramos muy fracturados, se propone la instalación de sostenimientos preventivos con pernos de anclaje y schocrete.

El sistema de clasificación GSI generalmente respeta las restricciones geológicas que ocurren en la naturaleza y están reflejados en la información geológicas, del macizo rocoso en diferentes localidades.

Las clasificaciones se basan en las estimaciones o medidas de la resistencia de compresión uniaxial ( $\sigma_c$ ) y una constante del material ( $m_i$ ), esto es relacionada con las propiedades de fricción de la roca. Para el presente proyecto se ha caracterizado todos los parámetros necesarios para determinar la calidad del macizo rocoso, utilizando los cuadros de clasificación (Ver Cuadro N° 7 – 12).

## CAPITULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4. RESULTADOS Y DISCUSIONES

##### 4.1 Características geológicas de la perforación

###### 4.1.1 Caracterización geológica de la perforación de DDH-SR-01-16

El sondeo de perforaciones diamantinas se encuentran distribuidos en las proximidades de la veta Sangre Toro I; mientras que la plataforma de perforación del sondeo DDH-SR-01-16; está emplazada en granodioritas y dioritas; según la evaluación y análisis textural, es una roca de buena consistencia, compuesto de fenocristales de cuarzo, plagioclasas, anfíboles, piroxenos, biotitas, cloritas; con minerales de alteración de sericitas, caolinitas, que se encuentra rellenando en los planos de juntas, asociados con costras de óxidos y cloritas.



Figura 9. Cores de perforación diamantina, que muestra la recuperación de testigos al 100%.

**Cuadro N° 13. Evaluación geológica de perforaciones diamantinas**

SR-01-16 Progresiva (m)	Litología y condiciones geológicas	Tipo de alteración	RQD	Tipo de roca
71.60 – 75.30	Granodiorita; juntas con superficies de oxidación y costras de cuarzo; roca de buena consistencia; relleno de granos de cuarzo y sericitas.	Argílica, con minerales de sericitas y caolinitas, como relleno en las juntas.	84.42	I
75.30 – 87.70	Granodiorita de textura porfídica; juntas con superficies ligeramente alteradas con costras de cuarzo y cloritas. Superficie rugosa. Roca buena.	Cuarzo, sericita entre los planos de juntas como relleno.	96.31	I
87.70 – 88.15	Granodiorita de textura porfídica; zona fragmentada y ligeramente alterada. Roca de baja consistencia	Cuarzo, sericita, clorita, se encuentran como relleno entre los planos de juntas.	73.58	II
88.15 – 112.55	Granodiorita de textura porfídica, con juntas cerradas y apertura de 2mm – 5 mm; cuarzo, costras de cloritas. Roca de buena calidad.	Cuarzo, sericita, caolinita, clorita; relleno en las juntas.	98.25	I
112.55 – 122.60	Granodiorita de textura porfídica; juntas con superficies de oxidación y costras de cuarzo.	Con minerales de sericitas, caolinitas, cloritas como relleno en las juntas.	84.42	I
122.60 – 126.15	Granodiorita de textura porfídica; juntas con superficies de oxidación y costras de cuarzo.	Con minerales de sericitas, caolinitas, cloritas en las juntas.	77.25	II
126.15 – 127.45	Granodiorita alterada y brechada; óxidos y minerales de arcillas.	Sericita, caolinita, clorita, relleno en las juntas.	55.78	III
127.45 – 132.80	Granodiorita de textura porfídica; juntas con superficies de oxidación y costras de cuarzo.	Con minerales de sericitas, caolinitas, cloritas en las juntas.	77.25	II
132.80 – 138.00	Granodiorita de textura porfídica, con fragmentos líticos de rocas máficas intersectado por dique de 1 m andesita basáltica. Roca de buena calidad.	Cuarzo, sericita, caolinita, calcita	96.31	I

Fuente: elaboración propia.

En el resultado de las investigaciones geológicas y geomecánicas, determinan que el tramo corresponde a granodioritas de buena calidad, cortadas por dos sistemas de discontinuidades; con una clasificación geomecánica de roca I desde la profundidad de 71.60 – 87.70 m de RMR de 84; con índice de designación de roca RQD de 84.42 – 96.31; indican que la roca de buena calidad. Para proponer el diseño de las excavaciones subterráneas sobre la estructura mineralizada de la veta Esperanza, Sangre Toro I, no requiere medidas de sostenimiento de mayor costo como cimbras; solamente pernos de anclajes puntuales en las zonas inestables, además se observan humedad en la bóveda central; en la zona de intersección de dos sistemas de discontinuidades, que son locales.

El índice de calidad de roca es  $Q = 78.60$ , que corresponde roca tipo I a la profundidad de 79.00 – 85.25 m, roca de muy buena calidad; además el valor de RMR es 84, según el comportamiento de los parámetros geomecánicos. El análisis determina que no requiere medidas de sostenimiento en el proceso constructivo.

**CLASIFICACION GEOMECANICA DEL MACIZO ROCOSO (RMR)**

	Parámetros	Descripción	Valuación
<b>Clasificación RMR, DDH-SR-01-16</b> <b>Profundidad perforación 79.00 – 85.25 m</b>	1	Índice de la calidad de roca RQD (65 %)	17
	2	Resistencia estimada a compresión simple	4
	3	Grado de intemperismo (ISRM)	3
	4	Espaciamiento de discontinuidades (juntas)	12
	5	Rugosidad o estado de discontinuidades (ISRM)	17
	6	Abertura en mm	5
	7	Tipo de relleno entre discontinuidades (ISRM)	11
	8	Presencia de aguas subterráneas	15
TOTAL	RMR	Roca tipo I, de muy buena calidad	84

$$Q = \frac{98.25}{2} \times \frac{4}{1} \times \frac{1.0}{2.5} = 78.60; \text{ valor que corresponde a roca tipo I, de muy buena calidad.}$$

Correlación con la ecuación comparativa,

$$RMR = 9 \ln Q + 44$$

$$RMR = 9 \ln (78.60) + 44$$

$RMR = 83.24$ , valor que corresponde a roca de muy buena en una profundidad de 85 m; en esta profundidad, la presión litostática no es mayor; por tanto, no se observan estradillo de rocas, durante la fase de excavación subterránea.

En base al análisis de proyecciones estereográficas, de los sistemas de discontinuidades, identificados en los testigos de perforación diamantina en éste sondeo; el comportamiento de los parámetros geomecánicos, determinan macizo de buena calidad; para continuar con el desarrollo de las excavaciones subterráneas. Las juntas presentan superficies rugosas, sin relleno y poco alterados. Consiste en la pérdida de carga, en las excavaciones subterráneas en perforaciones diamantina y la presión de confinamiento del macizo de acuerdo a la profundidad, las condiciones de flujos de aguas subterráneas, el tipo de relleno, la resistencia de la roca y otros aspectos que afecta al comportamiento geomecánico del macizo, durante y después del proceso constructivo

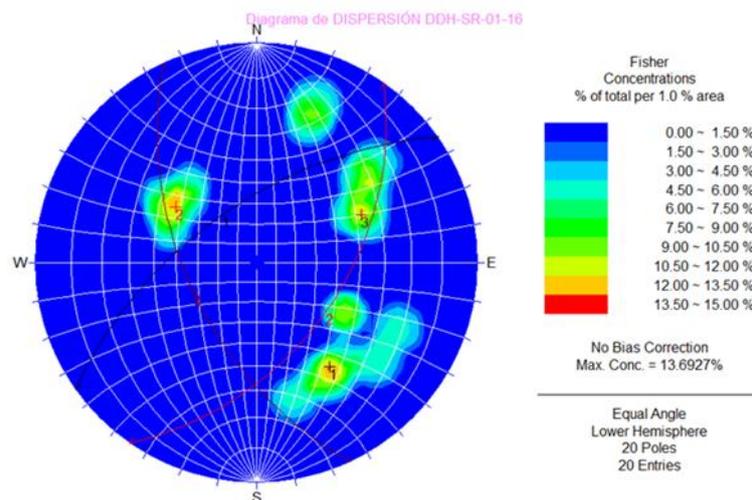


Figura 10. Diagrama de dispersión de la concentración de los polos, tomados durante el registro lineal, en los testigos de perforación diamantina.

El resultado de la distribución polos en el análisis de dispersión, muestran que los principales sistemas discontinuidades, tienden a formar dos poblaciones más resaltantes; de los cuales hay un tercero sistema aleatoria, que posiblemente en la etapa de

producción pueda, producirse una cuña inestable; esto puede suceder cuando haya filtración, alteración en la roca de caja. Sin embargo, en la evaluación del macizo; de los testigos de perforación diamantina, resultad roca de buena calidad.

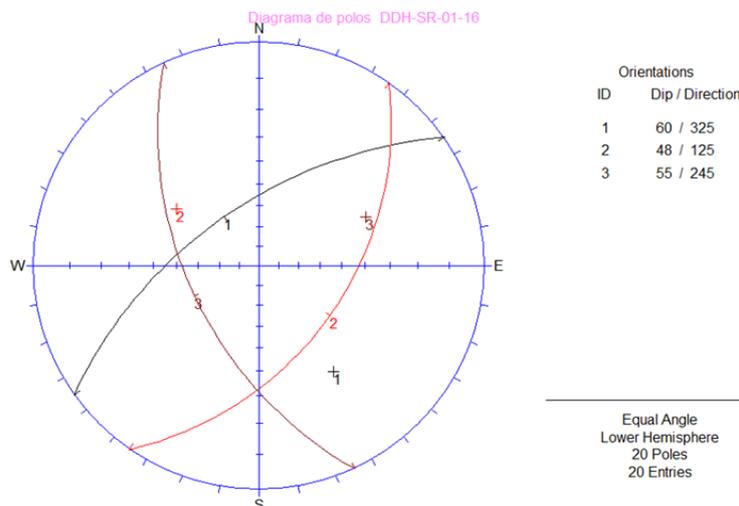


Figura 11. Proyección estereográfica de planos mayores; del dominio de los sistemas de discontinuidades que actúan en el entorno de la excavación subterránea.

En el diagrama de planos mayores; se muestran tres sistemas de discontinuidades dominantes que llegan fracturar al macizo rocoso.

Nº	Sistemas de discontinuidades		Observaciones
	Buzamiento	Dirección de Bz	
1	60	325	Principal
2	48	125	Secundario
3	55	245	Aleatorio

Por lo general el sistema de discontinuidades principal, muestran superficies rugosas de rumbo N 55° E, que buza 60° NW; para el proceso constructivo de la galería de producción en la mina se considera estable; además en el logeo de los testigos de perforación diamantina no hay presencia de minerales arcilla entre los planos juntas; solo se observa a una profundidad de 126 m a 128 m; según la clasificación geomecánica de RMR es roca de tipo III, que requiere medidas de sostenimiento puntual, tal como se muestra en el cuadro N° 4. Según el análisis de estabilidad de cuñas un factor de seguridad 2.117 en la inferior y un valor confiable de 10.83, que puede soportar de hasta 229.061 TM de carga.

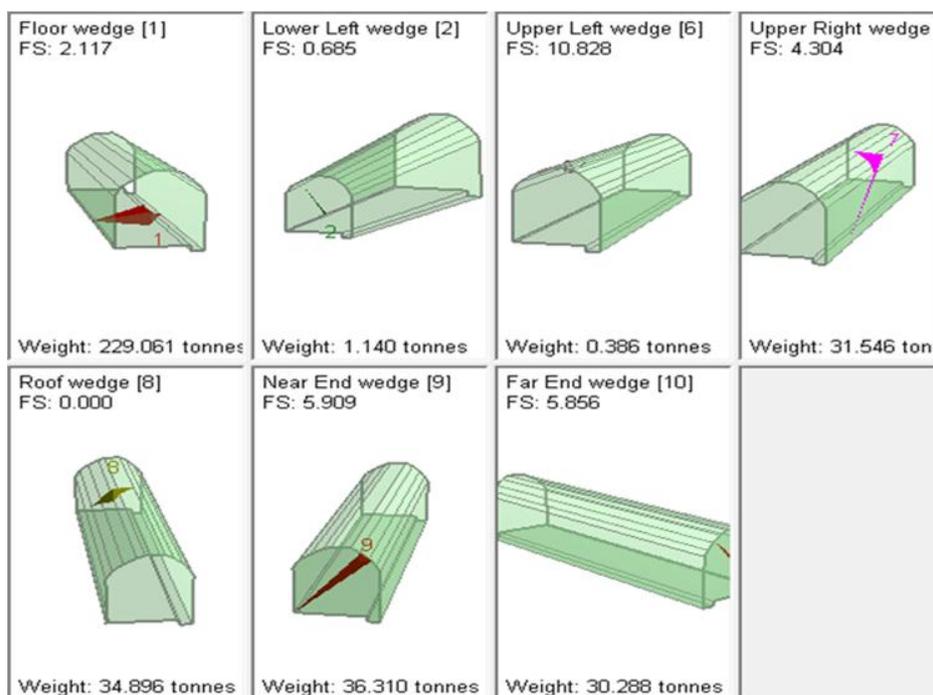


Figura 12. Diseño de excavación subterránea en base soporte de carga, sujeto sistemas de discontinuidades dominantes, que se generan cuñas, que actúan en el entorno de la excavación.

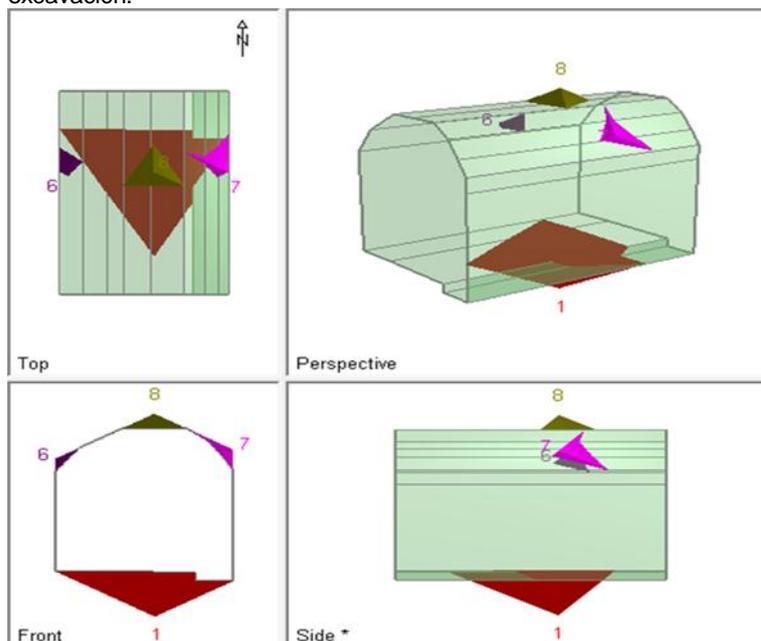


Figura 13. En esta simulación nos determina que, para el proceso constructivo, debe tener en cuenta, las posibles de zona de debilidad y la caída libre de cuñas, además muestra que en la bóveda central de la galería de producción es posible que en el piso es más vulnerable, que en los hastiales. Es probable que en cada cuña un perno de 1.5 m.

En un diseño convencional de ingeniería, lo primero es determinar las cargas que se aplicaran, para luego prescribir el material que tenga las suficientes características de resistencia y de formación

y que como consecuencia se determina la geometría y las dimensiones, frente a los esfuerzos que actúan en la sección de la galería. En el caso de las excavaciones subterráneas, el diseñador tiene que entenderse con el macizo rocoso, y no es posible prescribir propiedades específicas de este material para cumplir con los requerimientos del diseño. Por otro lado, en mecánica de rocas las cargas de diseño no son importantes, como las que resultan de la redistribución de los esfuerzos iniciales de campo.

#### 4.1.2 Comportamiento geomecánico del macizo rocoso de DDH-SR-02-16

El resultado de las investigaciones geomecánicas, que corresponden a esta perforación diamantina del sondeo DDH-SR-02-16, son rocas ígneas plutónicas de granodioritas y dioritas máficas; cuya clasificación geomecánica de RMR es 86, en zonas de donde RQD es de 84.42 – 96.31; considerando roca de buena calidad; interrumpidos con zonas de rocas de regular calidad que requieren de medidas de sostenimiento (ver cuadro de valoración).

##### CLASIFICACION GEOMECANICA DEL MACIZO ROCOSO (RMR)

	Parámetros	Descripción	Valuación
<b>Clasificación RMR, DDH-SR-02-16</b> <b>Profundidad perforación 7.50 – 21.10 m</b>	1	Índice de la calidad de roca RQD (96.31 %)	20
	2	Resistencia estimada a compresión simple	4
	3	Grado de intemperismo (ISRM)	3
	4	Espaciamiento de discontinuidades (juntas)	12
	5	Rugosidad o estado de discontinuidades (ISRM)	17
	6	Abertura en mm	5
	7	Tipo de relleno entre discontinuidades (ISRM)	11
	8	Presencia de aguas subterráneas	14
TOTAL	RMR	Roca tipo I, de muy buena calidad	86

$$Q = \frac{96.31}{2} \times \frac{4}{1} \times \frac{1.0}{2.5} = 77.048$$

$$RMR = 9\ln(77.048) + 44 = 83.099, \text{ roca de muy buena calidad}$$

$$GSI = 78$$

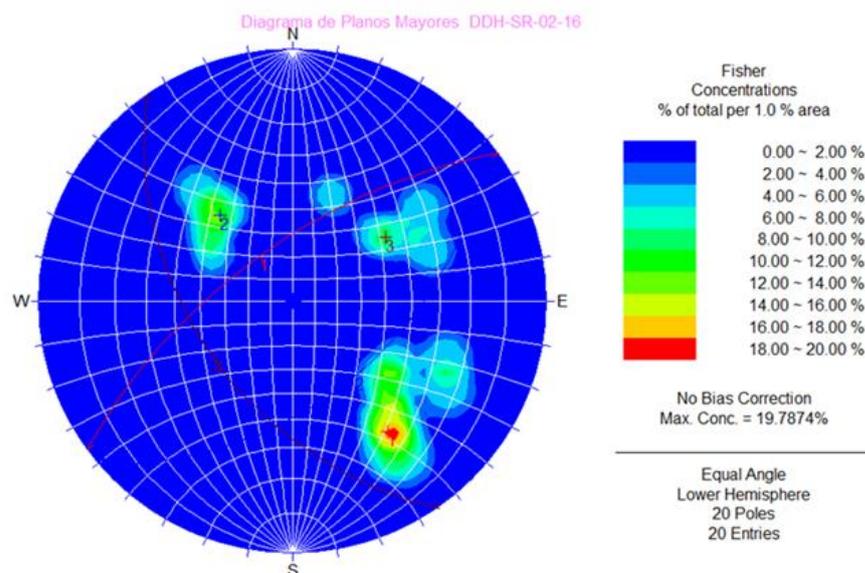


Figura 14. Diagrama de dispersión; perforación diamantina DDH-SR-02-16; muestra un sistema de discontinuidad principal y dos aleatorios que generan pequeñas cuñas inestables en los hastiales de la galería de desarrollo.

El comportamiento de los parámetros geomecánicos en el sondeo HDD-SR-02-2016; determinan que la calidad de macizo rocoso, es de muy buena calidad, hacia el interior, a una profundidad de 170 m; se considera estable. No se generarán de caída libre en la bóveda central de la galería de desarrollo en la mina. El sistema de discontinuidad principal está orientado en la dirección del dominio andino; son desplazadas y cortan por sistemas en posiciones perpendiculares y oblicuas aleatorias, sin brechamiento; que su buzamiento está orientado al suroeste y sureste. De 21.50 – 70.00 m de profundidad, es granodiorita de textura porfídica, con superficies de oxidación en los planos de juntas.

Se observan fragmentos líticos de rocas máficas dentro de la estructura. Roca de buena calidad, se clasifican como roca de buena calidad tipo I con superficies de rugosas, entre los planos de juntas. La clasificación geomecánica en el sondeo HDD- SR-02-2016, se considera roca de muy buena calidad; el sistema de discontinuidades principal se orientado paralelo al dominio andino, de superficie rugosa, es ligeramente alterado entre las juntas con

relleno de costras de clorita y cuarzo, que se encuentran expuestas en los testigos de perforación diamantina.



Figura 15. Testigos de perforación diamantina, con una recuperación de 100%; son granodioritas de textura gráfica, con fenocristales de plagioclasas, piroxenos y biotitas; se observa un sistema principal de discontinuidades, de superficie rugosa. Profundidad de 88.20 – 92.05 m, roca de muy buena calidad.

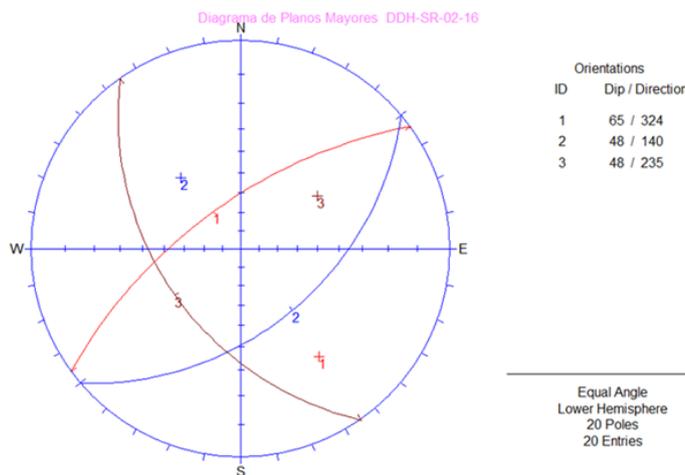


Figura 16. Diagrama de planos mayores; se observan dos sistemas de discontinuidades dominantes, que forman algunas cuñas inestables de la sección de la galería.

Nº	Sistemas de discontinuidades		Observaciones
	Buzamiento	Dirección de Bz	
1	65	324	Principal
2	48	140	Secundario
3	48	235	Aleatorio

El análisis de estabilidad, aplicada a la sección de excavación en la galería de producción se ha determinado que el factor de seguridad es de 8.416 – 29.97; en las que se considera macizo estable y muy resistente a la carga de 7.192 MT en la bóveda central y 78.740 TM en el piso de la galería; quiere decir que se

puede movilizar carga pesada de extracción sin medida de sostenimiento; ver fig. N° 11, del modelo.

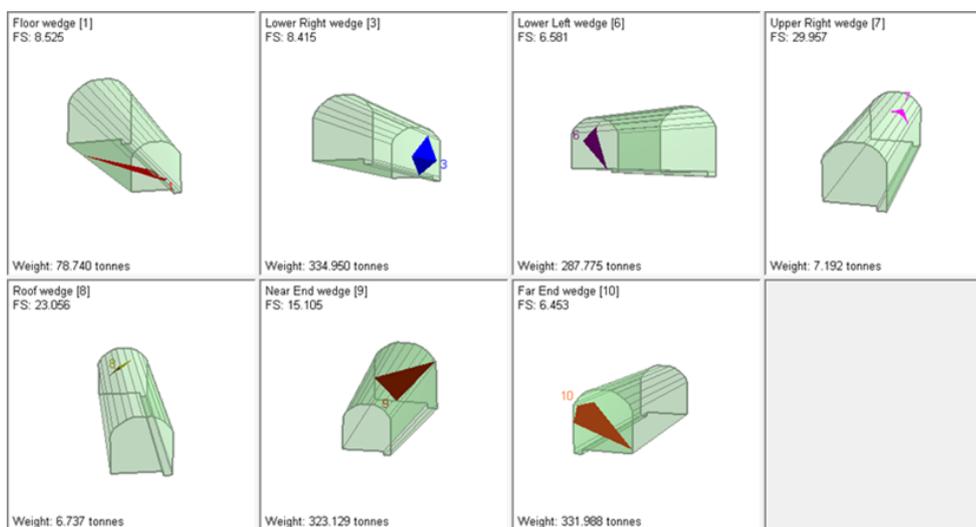


Figura 17. Análisis de estabilidad en la sección de la galería de producción; que deberá tener en cuenta en el proceso constructivo; sin ninguna medida de sostenimiento.

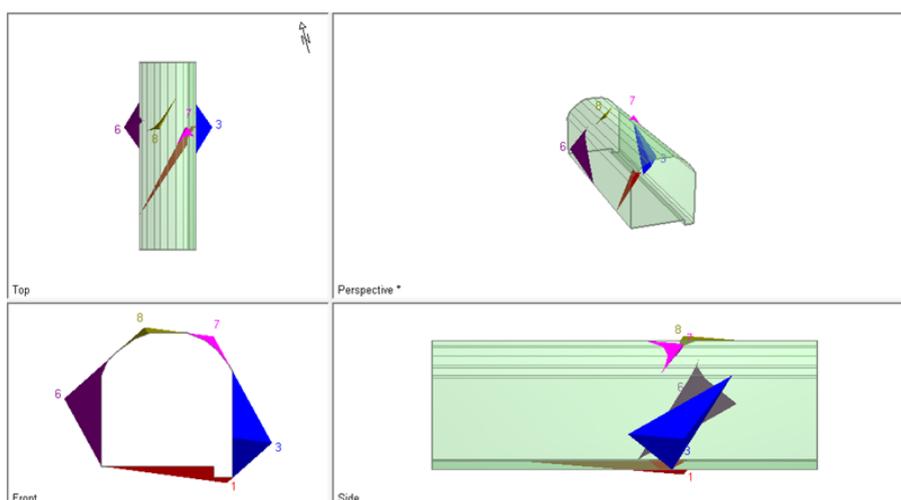


Figura 18. Posibles cuñas que se generan, durante la fase de excavación y determinar la instalación de pernos de anclaje en cada cuña inestable en la bóveda central.

**Cuadro N° 14 Evaluación geológica de perforación diamantina de  
DDH – SR – 02- 16**

DDH-SR-02-16 Progresiva (m)	Litología y condiciones geológicas	Tipo de alteración	RQD	Tipo de roca
00.00 – 07.50	Granodiorita de textura porfídica, presenta superficies alteradas en los planos de juntas, de costras de cloritas y óxidos. Roca buena y consistente.	Cuarzo, sericita, caolinita, clorita y óxidos de Fe.	84.42	I
07.50 – 21.10	Granodiorita de textura porfídica, con superficies de oxidación en los planos de juntas. Se observan fragmentos líticos de rocas máficas dentro de la estructura. Roca de buena calidad.	Cuarzo, sericita, clorita, relleno en las juntas.	96.31	I
21.10 – 22.20	Granodioritas fracturadas y brechadas, con superficies de oxidación, por la presencias de flujos de aguas subterráneas.	Minerales de arcillas en las zonas de alteración	69.90	II
22.20 – 48.00	Granodiorita de textura porfídica, con fragmentos líticos, juntas con relleno de calcita, rodocrosita, calcedonia y pirita diseminada. Roca de buena calidad	Cuarzo, sericita, clorita, relleno en las juntas.	96.31	I
48.00 – 52.25	Granodiorita de textura porfídica, con fragmentos líticos, en la estructura, fracturada, juntas con relleno de arcillas, cuarzo y óxidos.	Sericita, caolinita, clorita, costras de cloritas y cuarzo, óxidos y sulfuros.	69.90	II
52.25 – 65.75	Granodiorita de textura porfídica, con superficies de oxidación en los planos de juntas. Se observan fragmentos líticos de rocas máficas dentro de la estructura. Roca de buena calidad.	Sericita, cuarzo, clorita rellenas en los planos de juntas	80.88	I
65.75 – 70.00	Granodiorita de textura porfídica, con fragmentos líticos, en la estructura, fracturada, juntas con relleno de arcillas, cuarzo y óxidos.	Sericita, caolinita, clorita, costras de cloritas y cuarzo, óxidos y sulfuros.	73.58	II
70.00 – 137.80	Granodiorita de textura porfídica, con fragmentos líticos, juntas con relleno de calcita, rodocrosita, calcedonia y pirita diseminada. Roca de buena calidad	Cuarzo, sericita, clorita, relleno en las juntas.	96.31	I
137.80 – 142.00	Granodiorita de textura porfídica, con fragmentos líticos, en la estructura, fracturada, juntas con relleno de arcillas, cuarzo y óxidos.	Sericita, caolinita, clorita, costras de cloritas y cuarzo, óxidos y sulfuros.	73.58	II
142.00 – 155.00	Granodiorita de textura porfídica, con fragmentos líticos. Roca de buena calidad	Cuarzo, sericita, clorita, relleno en las juntas.	96.31	I
155.00 – 156.00	Granodiorita alterada y brechada; óxidos y minerales de arcillas.	Sericita, caolinita, clorita, relleno en las juntas.	55.78	III
156.00 – 170.40	Andesita basáltica de textura afanítica con fenocristales de plagioclasas. Se encuentra intersectada por un sistema de discontinuidad, distancia de 0.50 – 1.20 m. Dique de muy buena calidad.	Cuarzo, sericita, clorita, relleno en las juntas.	96.31	I

Fuente: Elaboración propia

#### 4.1.3 Evaluación geológica y geomecánica de DDH-ST1-01-16

Las condiciones de estabilidad que demuestran la en la que se encuentra emplazada la estructura mineralizada de Sangre Toro I; es una diorita de fenocristales de plagioclasas de 55%; minerales

máficos de 35%, minerales de alteración de 5% y opacos 5% que corresponde a los minerales de control y guía en la estructura mineralizada. Se consideran como diques posteriores al batolito de la costa.



Figura 19. Testigos de perforación diamantina de la profundidad de 54.30 – 58.00; considerados como roca tipo I; intersectadas por dos sistemas de discontinuidades.

El resultado del análisis y evaluación de los testigos de perforación diamantina logeado, determinan; que la roca es de regular calidad de baja consistencia en los primeros 20 m de profundidad. El comportamiento geomecánico del macizo rocoso es de RMR 46 a los 2 m de profundidad, se continua con una valoración de roca de tipo II de RMR 64, con RQD de 62.68 – 77.25. Para el proceso constructivo, de una galería de producción, requiere medidas de sostenimiento, como la instalación de pernos de anclaje sistemático, recubierto con la aplicación de schocrette a sección completa.

$$Q = \frac{66.26}{2} \times \frac{2}{2} \times \frac{1.0}{2.5} = 13.25$$

$$RMR = 9 \ln(13.25) + 44 = 67.26;$$

$$GSI = 62$$

A partir de la evaluación con el sistema Q de Barton, la clasificación geomecánica es roca de tipo II, con dos sistemas de discontinuidades dominantes y una aleatoria, que genera brechamiento y fracturamiento en la zona de intersección de diques de dioritas de grano de medio de textura porfídica, con la

granodiorita del batolito de la costa de la Súper Unidad Tiabaya, que aflora en la mina. Considerando el sistema de valoración de índice geológico de resistencia (GSI) = 62; aun el macizo rocoso, requiere menor número de soporte a lo largo del tramo evaluado, que corresponde la profundidad de 72 – 76.50 m analizados en los testigos de perforación diamantina.

**Cuadro N° 15 Evaluación geológica de perforación diamantina de DDH – ST-01- 16**

DDH-ST-01-16 Progresiva (m)	Litología y condiciones geológicas	Tipo de alteración	RQD	Tipo de roca
0.00 – 01.80	Diorita básica de textura porfídica; fuertemente fracturado y brechado, que se considera roca de mala calidad.	Minerales de alteración, sericita, caolinita, cuarzo granular.	40.60	III
01.80 – 12.54	Diorita gris oscura de textura afanítica compacta, con juntas de superficies alteradas.	Sericita, cuarzo, óxidos, costras de clorita como relleno entre las juntas.	69.90	II
12.54 – 14.74	Diorita gris oscura de textura porfídica granular compacta, fracturada, juntas con superficies alteradas con costras de cloritas; venillas de cuarzo hialino. Roca de regular calidad, requiere sostenimiento	Sericita, cuarzo, óxidos, costras de clorita como relleno entre las juntas.	62.68	II
14.74 – 21.45	Diorita gris oscura de textura porfídica granular compacta, fracturada; juntas con superficies alteradas con costras de cloritas; venillas de cuarzo hialino. Roca de regular calidad.	Sericita, cuarzo, óxidos, piritita diseminada en la roca de caja; costras de clorita como relleno entre las juntas.	77.25	II
21.45 – 40.32	Diorita gris oscura de textura porfídica granular compacta, con fenocristales de plagioclasas, piroxenos y hornblendas, con venillas de cuarzo hialino y calcita. Roca de buena calidad	Cuarzo, sericita, costras de clorita relleno entre las juntas.	84.42	I
40.32 – 42.17	Dique aplítico blanquecino con presencia de sanidina, cuarzo hialino y hornblendas y diseminación de piritita, dentro de la estructura de la roca.	Cuarzo hialino, sanidina, sericita, hornblenda, piritita en las juntas	80.88	I
42.17 – 45.20	Diorita gris oscura de textura porfídica granular compacta, fracturada; juntas con superficies alteradas con costras de cloritas; venillas de cuarzo hialino. Roca de regular calidad.	Cuarzo, sericita, costras de clorita relleno entre las juntas.	84.42	I
45.20 – 45.70	Diorita brechada y descompuesta; la roca se encuentra sumamente alterada en fragmentos líticos. Roca de mala	Sericita, caolinita, pirofilita, clorita y minerales de alteración.	20.00	IV
45.70 – 72.80	Diorita gris oscura de textura porfídica granular compacta, con fenocristales de plagioclasas, piroxenos y hornblendas, con venillas de cuarzo hialino y calcita. Roca de buena calidad	Cuarzo, sericita, costras de clorita relleno entre las juntas. Piritita diseminada en el macizo.	87.81	I
72.80 – 76.10	Diorita gris oscura de textura porfídica granular compacta, fracturada; juntas con superficies alteradas con costras de cloritas; venillas de cuarzo hialino. Roca de regular calidad.	Sericita, cuarzo, óxidos, piritita diseminada en la roca de caja; costras de clorita como relleno entre las juntas.	77.25	II
76.10 – 95.00	Diorita gris oscura de textura porfídica granular compacta, con fenocristales de plagioclasas, piroxenos y hornblendas, con venillas de cuarzo hialino y calcita. Roca de buena calidad	Cuarzo, sericita, costras de clorita relleno entre las juntas. Piritita diseminada en el macizo.	87.81	I

Fuente: Elaboración propia.

**CLASIFICACION GEOMECANICA DEL MACIZO ROCOSO (RMR)**

<b>Clasificación RMR, DDH-ST-01-16</b> <b>Profundidad perforación 62.68 – 77.25 m</b>	Parámetros	Descripción	Valuación
	1	Índice de la calidad de roca RQD (66.26 %)	12
	2	Resistencia estimada a compresión simple	4
	3	Grado de intemperismo (ISRM)	3
	4	Espaciamiento de discontinuidades (juntas)	10
	5	Rugosidad o estado de discontinuidades (ISRM)	12
	6	Abertura en mm	5
	7	Tipo de relleno entre discontinuidades (ISRM)	8
	8	Presencia de aguas subterráneas	10
TOTAL	RMR	Roca tipo II, regular	64

como el análisis de las proyecciones estereográficas, se ha encontrado que al sistema principal, fue fracturado por el sistema de discontinuidades secundarias en la dirección de suroeste; juntas que tienen relleno de sericita, cuarzo, óxidos, con piritita diseminada en la roca de caja; costras de clorita como relleno entre las juntas, asociados a sericitas y caolinitas que llegan a generar pequeñas cuñas inestables en la bóveda central de la galería de producción en la mina.

Diagrama de distribución de polos de floteados; que muestran la calidad de macizo rocoso; afectados por dos sistemas de discontinuidades y una aleatoria tal como se muestra en el diagrama de planos mayores que han sido calculados, en base a la toma de datos in situ. Proyección estereográfica de DDH-ST1-01-16.

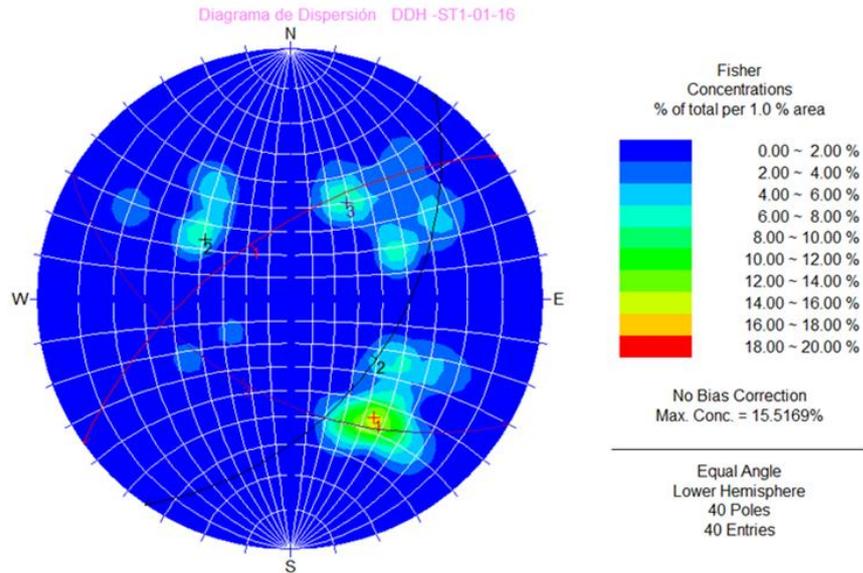


Figura 20. Diagrama de dispersión de los testigos de perforación diamantina DDH-ST1-01-16, la roca se encuentra fracturada, y con sistema de cuñas inestables.

Diagrama de dispersión, que muestra la concentración y la orientación de los sistemas de discontinuidades dominantes en el macizo rocoso.

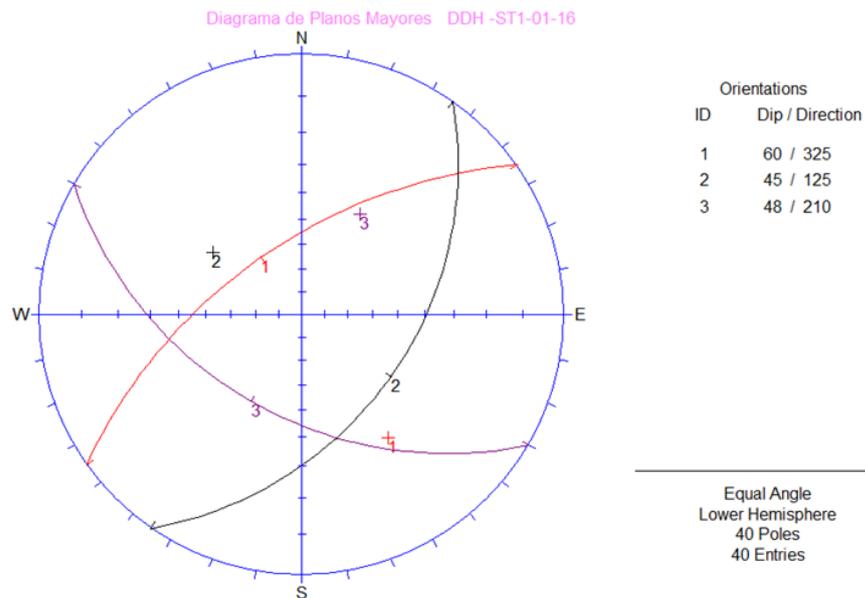


Figura 21. Diagrama de planos mayores, dominantes observadas en la perforación diamantina DDH-ST1-01-16; se analizan cuñas inestables.

Nº	Sistemas de discontinuidades		Observaciones
	Buzamiento	Dirección de Bz	
1	60	325	Principal
2	45	125	Secundario
3	48	210	Aleatorio

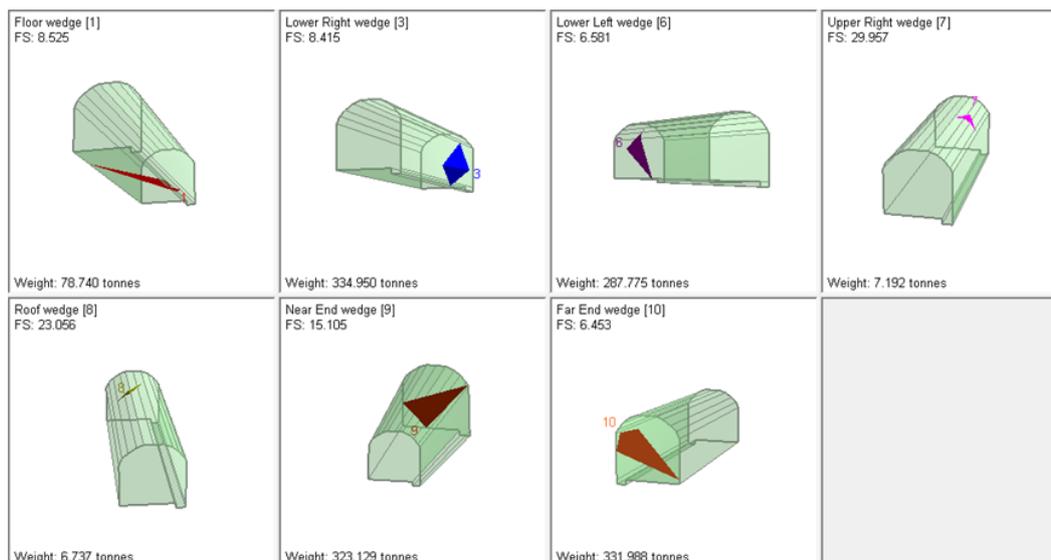


Figura 22. Análisis de estabilidad en la sección de la galería de producción; que deberá tener en cuenta en el proceso constructivo; sin ninguna medida de sostenimiento; con diferentes factores de seguridad en la sección de excavación.

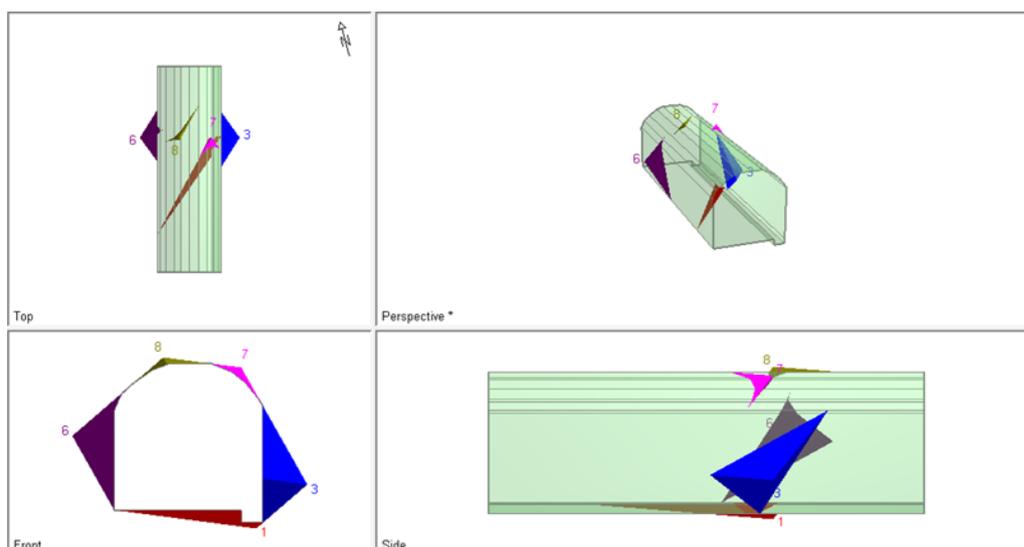


Figura 23. Análisis de cuñas inestables y la instalación de pernos de anclaje en cada cuña, que se manifiesta perpendicular a la sección de excavación.

#### 4.1.4 Evaluación geológica y geomecánica de DDH-ST1-02-16

El comportamiento de los parámetros geomecánicos en el sondeo DDH-ST1 -02-16; ha sido evaluado los testigos de perforación diamantina, los cuales determinan que la calidad de macizo rocoso, es variable de acuerdo al avance hacia el interior; tramo que consisten en continuar la profundidad de perforación del sondaje anterior; para fines de investigar la calidad del macizo, el tipo de alteración, mineralización y otros controles como

minerales guías que llegan a determinar zonas de valor económico. En los tramos iniciales la roca es de mala calidad hasta una profundidad de 2m; según la evaluación de los parámetros geomecánicas en esta zona requiere la instalación de cimbras, como medida de sostenimiento durante la vida útil del yacimiento. El sistema de las discontinuidades dominantes en la dirección del dominio andino, son desplazadas y cortan por sistemas en posiciones perpendiculares y oblicuas a la dirección del avance; que su buzamiento está orientado al noreste y suroeste de  $60^\circ$  a  $45^\circ$ , en la mayoría de los casos analizados. Entre 40 – 145 m de profundidad de perforación con recuperación de testigos analizados el comportamiento físico de los parámetros geomecánicos; determina que la calidad de roca es muy buena, cuya clasificación geomecánica es de RMR 44 - 82. Son generalmente diorita de textura porfídica con fenocristales de plagioclasas con núcleos de zonación, piroxenos y anfíboles como máficos; minerales de alteración sericitas, caolinitas, cloritas y óxidos de hierro entre las juntas de superficies rugosas.

**Cuadro N° 16 Evaluación geológica de perforación diamantina de SR – ST2- 02- 16**

SR-ST-02-16 Progresiva (m)	Litología y condiciones geológicas	Tipo de alteración	RQD	Tipo de roca
00.00 – 01.90	Diorita de textura porfídica fracturada y brechada, con minerales de arcilla entre los planos de juntas. Roca de mala calidad	Sericita, caolinita, clorita y roca triturada se encuentran rellenas entre las juntas	43.37	III
01.90 – 12.25	Diorita de textura porfídica compacta con fenocristales de plagioclasas y anfíboles, poco fracturadas. Roca buena	Sericita, caolinita, clorita y costras de óxidos entre las juntas.	80.88	I
12.25 – 17.40	Diorita de textura porfídica con fenocristales de plagioclasas zonadas, anfíboles y cloritas, ligeramente fracturadas; minerales de arcillas en las juntas. Roca de regular.	Sericita, caolinita, clorita y roca triturada se encuentran rellenas entre las juntas	73.58	II
17.40 – 110.00	Diorita de textura porfídica con fenocristales de plagioclasas zonadas, anfíboles y cloritas, intersectadas con diques de aplitas; además se observan venillas de cuarzo y calcita paralelos a la, orientación de las discontinuidades; minerales de arcillas en las juntas. Roca de buena	Sericita, caolinita, clorita y roca triturada, con costras de clorita y cuarzo se encuentran rellenas entre las juntas.	96.31	I
110.00 – 146.50	Diorita de textura porfídica con fenocristales de plagioclasas zonadas, anfíboles y cloritas, intersectadas con dique de granodiorita de textura grafica en la progresiva 142 a 144. Roca de buena.	Sericita, caolinita, clorita y roca triturada, con costras de clorita y cuarzo se encuentran rellenas entre las juntas.	96.31	I



Figura 24. Testigos de perforación diamantina de DDH-ST2-02-16; roca de buena consistencia, constituidas de dioritas de textura máfica; con fenocristales de plagioclasas, hornblendas. Biotitas y cloritas. Profundidad de perforación 128.40 – 132.65 m.

El comportamiento de los parámetros geomecánicos, determinar que el índice de calidad de roca en los testigos de perforación diamantina es bueno, de  $Q = 57.79$ ,  $RMR = 80.51$  y un índice geológico de resistencia de  $GSI = 76$  unidades. La sección de excavación no requiere sostenimiento.

$$Q = \frac{96.31}{2} \times \frac{3}{1} \times \frac{1.0}{2.5} = 57.79$$

$$RMR = 9\ln(57.79) + 44 = 80.51, \text{ roca de muy buena calidad}$$

$$GSI = 76$$

**CLASIFICACION GEOMECANICA DEL MACIZO ROCOSO (RMR)**

Clasificación RMR, DDH-ST-02-16 Profundidad perforación 17.40 – 110.00 m	Parámetros	Descripción	Valuación
		1	Índice de la calidad de roca RQD (65 %)
	2	Resistencia estimada a compresión simple	4
	3	Grado de intemperismo (ISRM)	3
	4	Espaciamiento de discontinuidades (juntas)	12
	5	Rugosidad o estado de discontinuidades (ISRM)	16
	6	Abertura en mm	5
	7	Tipo de relleno entre discontinuidades (ISRM)	10
	8	Presencia de aguas subterráneas	15
TOTAL	RMR	Roca tipo I, de muy buena calidad	82

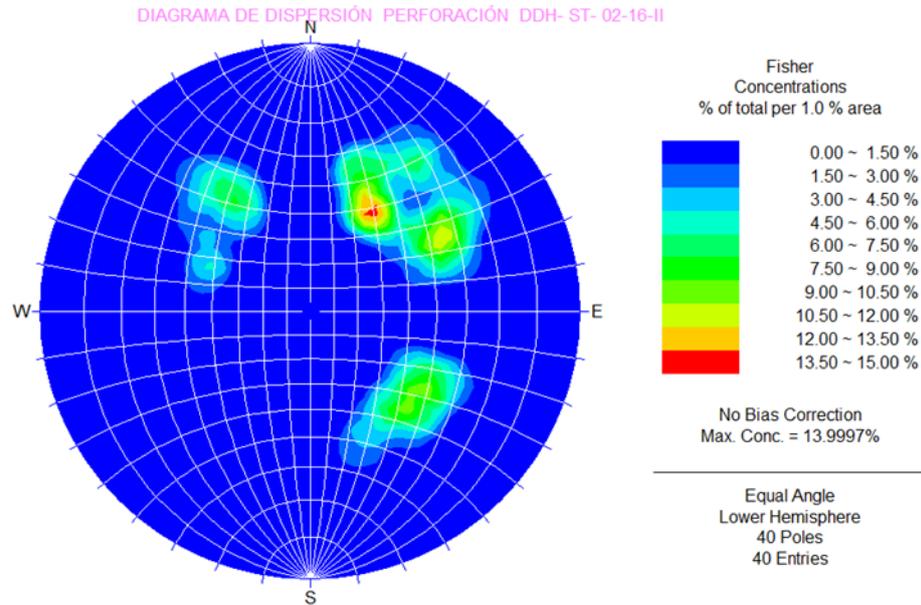


Figura 25. Diagrama de dispersión de la concentración de los polos de dos sistemas de discontinuidades dominante en la evaluación del macizo rocoso, mediante el sondeo de perforación diamantina.

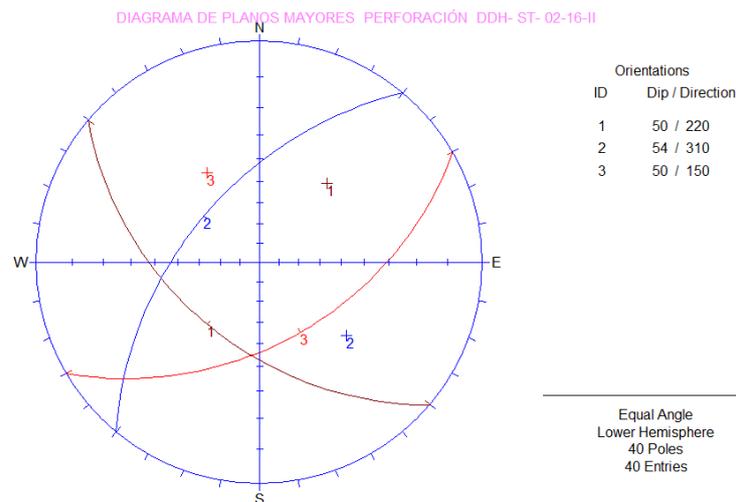


Figura 26. Diagrama de planos mayores en el sondeo de perforación diamantina DDH-ST-02-16. Se observan sistemas de discontinuidades estables.

N°	Sistemas de discontinuidades		Observaciones
	Buzamiento	Dirección de Bz	
1	50	220	Principal
2	54	310	Secundario
3	50	150	Aleatorio

Análisis de cuñas en la sección de excavación subterránea; muestran que las cuñas que se presentan en los hastiales y frente

de excavación son estables y favorables; en vista que el factor de seguridad de 3.66, para carga de 199.28 TM, mientras que en la base de la galería puede rodar una carga pesada de 628.19 TM; no se observa ningún riesgo de caída de bloques inestables.

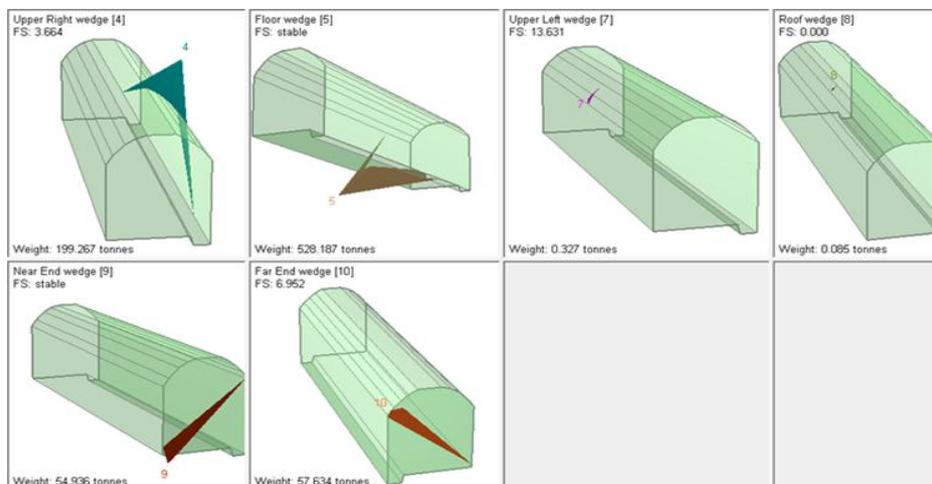


Figura 27. Posibles cuñas de caída libre; en la sección de excavación en el proceso de excavación en la galería de producción y secciones anexas al acceso principal.

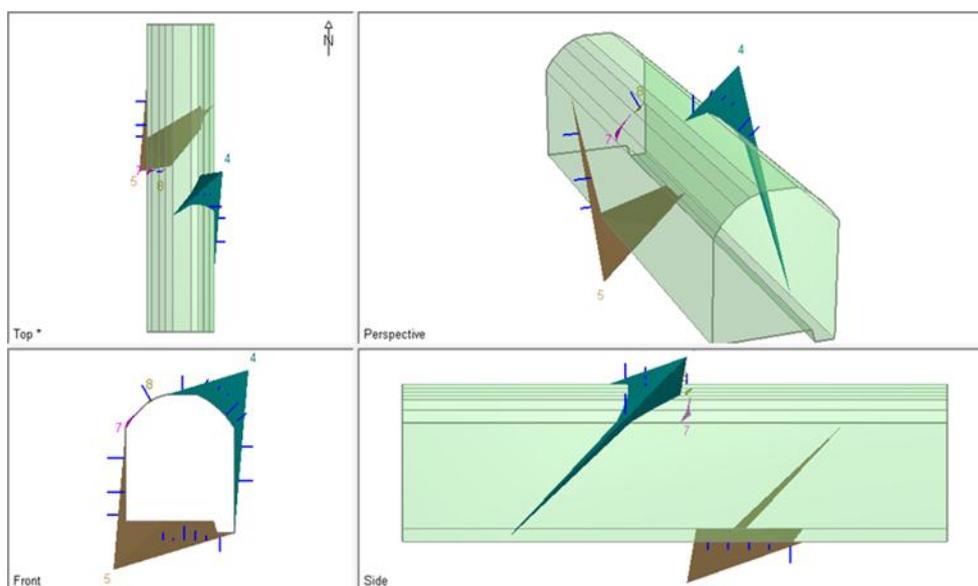


Figura 28. cuñas de caída libre en la sección de excavación y la instalación de pernos de anclaje, analizado en base al sondeo de perforación diamantina DDH-ST-02-16.

#### 4.1.5 EVALUACIÓN GEOLÓGICA Y GEOMECÁNICA DE DDH-VI-01-16

El comportamiento de los parámetros geomecánicos en el sondeo DDH-VI -01-16; ha sido evaluado los testigos de perforación diamantina, los cuales determinan que la calidad de macizo rocoso, es variable y más consiste roca de muy buena calidad; se

encuentran afectados por un sistema de discontinuidades principal orientados al dominio andino, de juntas distanciados 0.45 m a 1.2 m, de superficies rugosas ligeramente alterados y rellenadas de fragmentos de cuarzo, sericitas, con costras de cloritas entre las juntas; que son intersectados por un sistema aleatorio, que su orientación es ligeramente perpendicular al sistema principal. El avance de la perforación hacia el interior, tiene una recuperación al 100%; roca que consisten con una clasificación de 73.54 – 96.31 de índice de designación de roca (RQD); que corresponde una roca de tipo I; valores que indican que no requiere medidas en el proceso constructivo; la sección de la galería se mantiene estable durante la fase excavación.

El índice de calidad de roca es  $Q = 78.60$ , que corresponde roca tipo I a la profundidad de 71.60 – 100.40 m, roca de muy buena calidad; además el valor de RMR es 84, según el comportamiento de los parámetros geomecánicos.

$Q = \frac{98.25}{2} \times \frac{4}{1} \times \frac{1.0}{2.5} = 78.60$ ; valor que corresponde a roca tipo I, de muy buena calidad.

Correlación con la ecuación comparativa,

$$RMR = 9 \ln Q + 44$$

$$RMR = 9 \ln (78.60) + 44$$

$RMR = 83.24$ , valor que corresponde a roca de muy buena en una profundidad de 85 m; en esta profundidad, la presión litostática no es mayor; por tanto, no se observan estadillo de rocas, durante la fase de excavación subterránea.

**CLASIFICACION GEOMECANICA DEL MACIZO ROCOSO (RMR)**

Clasificación RMR, DDH-VI-01-16 Profundidad perforación 84.40 – 90.10 m	Parámetros	Descripción	Valuación
	1	Índice de la calidad de roca RQD (96.31 %)	17
	2	Resistencia estimada a compresión simple	4
	3	Grado de intemperismo (ISRM)	3
	4	Espaciamiento de discontinuidades (juntas)	12
	5	Rugosidad o estado de discontinuidades (ISRM)	17
	6	Abertura en mm	5
	7	Tipo de relleno entre discontinuidades (ISRM)	11
	8	Presencia de aguas subterráneas	15
TOTAL	RMR	Roca tipo I, de muy buena calidad	84



Figura 29. Testigos de perforación diamantina en el sondeo DDH- VI-01-16, que corresponde a una diorita de textura porfídica de fenocristales de plagioclasas, piroxenos, biotitas y minerales de alteración, que se observan entre las juntas.

**Cuadro N° 17 Evaluación geológica de perforación diamantina de DDH – VI- 01- 16**

DDH-VI-01-16 Progresiva (m)	Litología y condiciones geológicas	Tipo de alteración	RQD	Tipo de roca
00.00 – 69.00	Granodiorita de textura grafica con fenocristales de cuarzo, plagioclasas, piroxenos y anfíboles; con superficies de alteración en los planos de sistemas de discontinuidades. Roca de buena calidad.	Cuarzo, sericita, clorita y óxidos con costras de cloritas rellenas entre las juntas.	96.31	I
69.00 – 71.60	Diorita de textura con fenocristales de cuarzo, plagioclasas, piroxenos y anfíboles; con superficies de alteración en los planos de sistemas de discontinuidades. Roca de regular calidad	Cuarzo, sericita, clorita y óxidos con costras de cloritas rellenas entre las juntas.	73.58	II
71.60 – 100.40	Diorita de textura con fenocristales de cuarzo, plagioclasas, piroxenos y anfíboles; con superficies de alteración en los planos de sistemas de discontinuidades. Roca de buena calidad	Cuarzo, sericita, clorita y óxidos con costras de cloritas rellenas entre las juntas.	96.31	I
100.40 – 114.90	Granodiorita de textura grafica con fenocristales de cuarzo, plagioclasas, piroxenos y anfíboles; con superficies de alteración en los planos de sistemas de discontinuidades. Roca de regular calidad.	Cuarzo, sericita, clorita y óxidos con costras de cloritas rellenas entre las juntas.	73.58	II
114.90 – 125.40	Granodiorita de textura grafica con fenocristales de cuarzo, plagioclasas, piroxenos y anfíboles; con superficies de alteración en los planos de sistemas de discontinuidades. Roca de buena calidad.	Cuarzo, sericita, clorita y óxidos con costras de cloritas rellenas entre las juntas.	87.81	I
125.40 – 145.00	Granodiorita de textura grafica con fenocristales de cuarzo, plagioclasas, piroxenos y anfíboles; con superficies de alteración en los planos de sistemas de discontinuidades. Roca de regular calidad.	Cuarzo, sericita, clorita y óxidos con costras de cloritas rellenas entre las juntas.	80.88	I

145.00 – 179.50	Diorita de textura con fenocristales de cuarzo, plagioclasas, piroxenos y anfíboles; con superficies de alteración en los planos de sistemas de discontinuidades. Roca de buena calidad	Cuarzo, sericita, clorita y óxidos con costras de cloritas rellenas entre las juntas.	84.42	I
179.50 – 190.00	Granodiorita de textura grafica con fenocristales de cuarzo, plagioclasas, piroxenos y anfíboles; con superficies de alteración en los planos de sistemas de discontinuidades. Roca de regular calidad.	Cuarzo, sericita, clorita y óxidos con costras de cloritas rellenas entre las juntas.	80.88	I
190.00 – 235.00	Diorita de textura con fenocristales de cuarzo, plagioclasas, piroxenos y anfíboles; con superficies de alteración en los planos de sistemas de discontinuidades. Roca buena.	Cuarzo, sericita, clorita y óxidos con costras de cloritas rellenas entre las juntas.	84.42	I

El análisis de proyección estereográfica en el sondeo de perforación diamantina DDH-VI -01-16, muestra una estabilidad favorable y confiable, con pequeñas zonas inestables en la bóveda central de la galería que está orientado ligeramente al dominio andino.

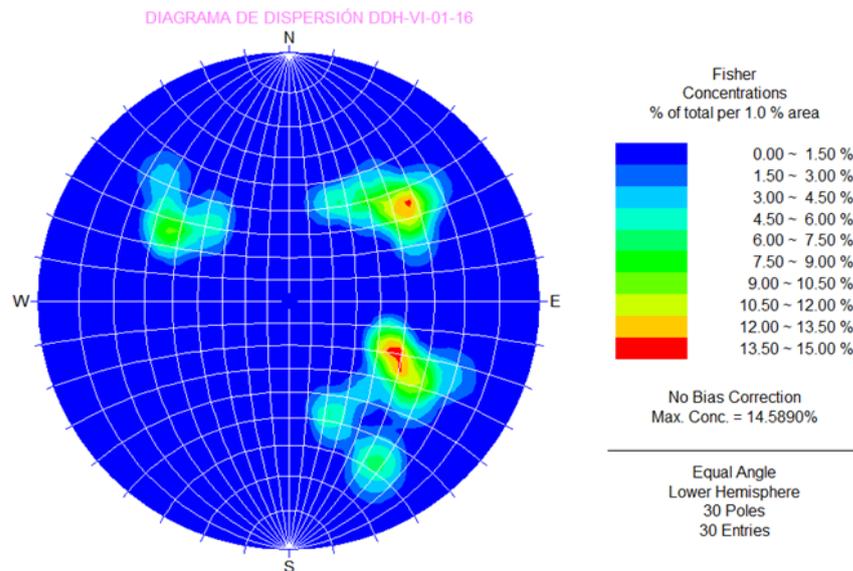


Figura 30. Diagrama de dispersión de la concentración de polos en los testigos de perforación diamantina del sondeo DDH-VI-O1-16.

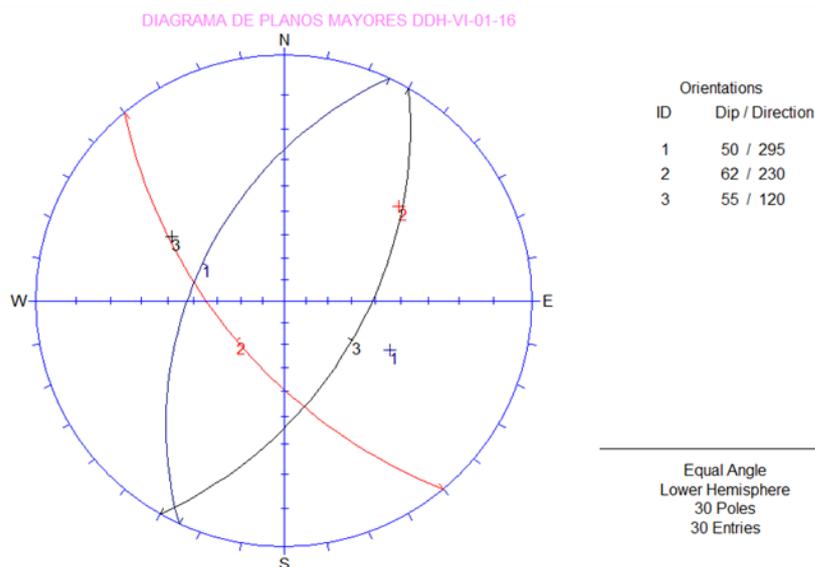


Figura 31. Diagrama de planos mayores de la concentración de polos en los testigos de perforación diamantina del sondeo DDH-VI-O1-16.

N°	Sistemas de discontinuidades		Observaciones
	Buzamiento	Dirección de Bz	
1	50	295	Principal
2	62	230	Secundario
3	55	120	Aleatorio

En base a las proyecciones estereográficas del sistema de discontinuidades dominantes, se ha determinado la distribución de las cargas de soporte y el factor de seguridad; que debe ser controlada en la fase de excavación. La carga de soporte en la bóveda central superior es de 58.97 TM, con un factor de seguridad de 6.51 unidades y una carga de rodadura de 210.577 TM.

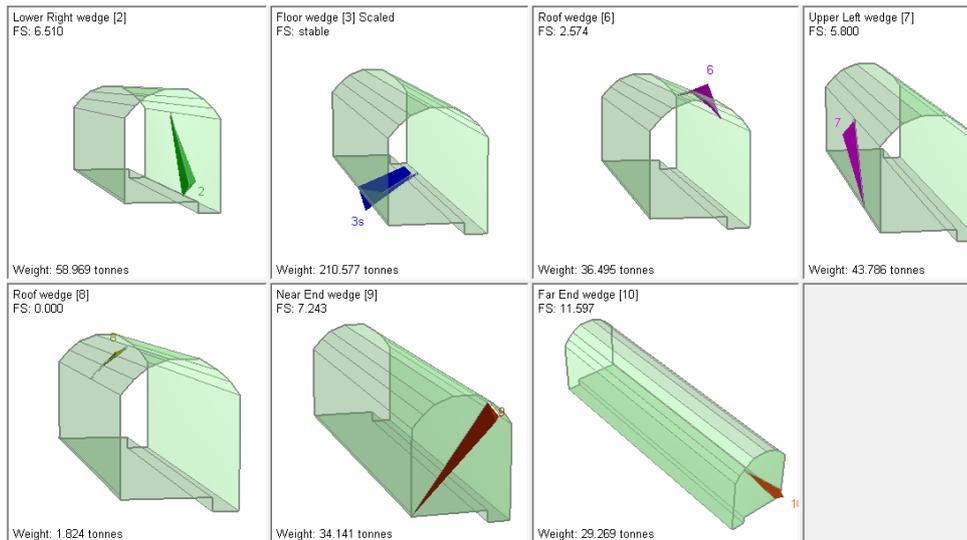


Figura 32. Análisis de cuñas y soporte de carga en las diferentes posiciones de la sección de excavación de la zona de acceso a las labores principales de la veta.

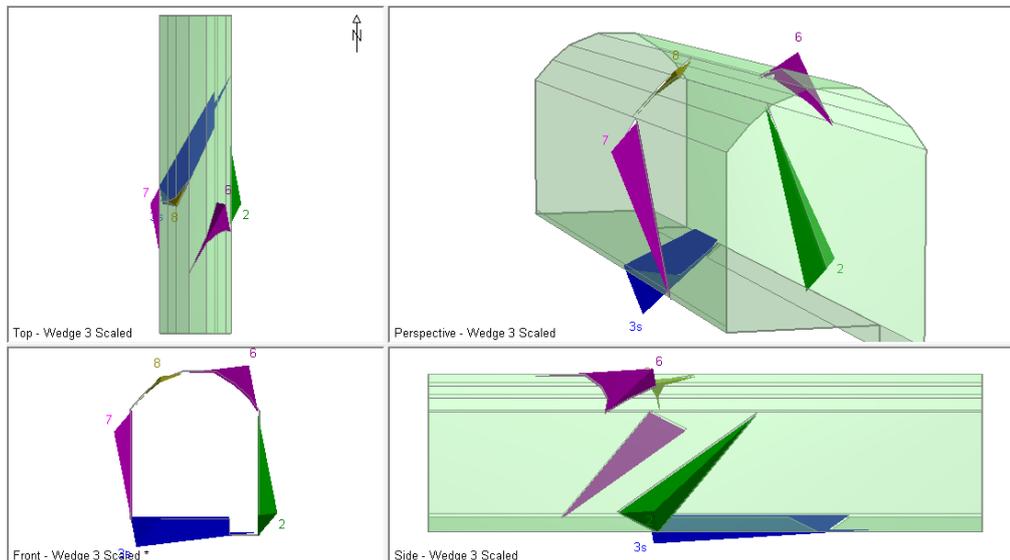


Figura 33. El análisis de estabilidad y la instalación de posibles pernos de anclajes por cada cuña que se muestra en la sección de excavación.

Posibles cuñas inestables, que pueden generarse alrededor de la excavación de la galería de producción. Para su estabilidad se debe instalar pernos de anclaje puntual en cada cuña.

#### 4.1.6 EVALUACIÓN GEOLÓGICA Y GEOMECÁNICA DE DDH-VI-02-16

El comportamiento de los parámetros geomecánicos en los testigos de perforación diamantina analizados y evaluados, determinan que el macizo rocoso es de muy buena calidad; que

consiste en roca de tipo de RMR = 83.10, con un índice de Q = 77.048. al calcular el índice geológico de resistencia GSI = 78 unidades, valor que se considera; que el tipo de roca en sector de la mina, la roca de caja no requiere medidas de sostenimiento, durante la fase de excavación en la galería de producción, sobre la veta Sangre de Toro.

**Cuadro N° 18 Evaluación geológica de perforación diamantina de DDH – VI- 02- 16**

DDH-VI-02-16 Progresiva (m)	Litología y condiciones geológicas	Tipo de alteración	RQD	Tipo de roca
00.00 – 45.00	Granodiorita de textura grafica con fenocristales de cuarzo, plagioclasas, piroxenos y anfíboles; con superficies de alteración en los planos de sistemas de discontinuidades. Roca buena.	Cuarzo, sericita, clorita y óxidos con costras de cloritas rellenas entre las juntas.	80.88	I
45.00 – 138.00	Granodiorita de textura grafica con fenocristales de cuarzo, plagioclasas, piroxenos y anfíboles; con superficies de alteración en los planos de sistemas de discontinuidades, con intersección de venillas de cuarzo. Roca de buena calidad.	Cuarzo, sericita, clorita y óxidos con costras de cloritas rellenas entre las juntas.	90.98	I
138.00 – 140.60	Diorita de textura porfídica con fenocristales de plagioclasas, anfíboles y piroxenos, tramo de roca fracturada y brechada; minerales de alteración en las juntas.	Sericita, caolinita, clorita, óxidos con costras de cloritas, rellenas entre las juntas de superficie rugosa.	73.58	II
140.60 – 165.60	Diorita de textura porfídica con fenocristales de plagioclasas, piroxenos, anfíboles y cloritas, con dos sistemas de discontinuidades poco fracturadas y los planos de juntas son rugosas. Roca de muy buena calidad.	Sericita, cuarzo y costras de cloritas entre las juntas.	98.25	I
165.60 – 168.00	Granodiorita de textura grafica con fenocristales de cuarzo, plagioclasas, piroxenos; tramo de roca fracturada englobados con minerales de arcilla. Roca regular.	Sericita, caolinita, clorita, óxidos y costras de cloritas entre los planos de juntas; hay roca triturada.	73.58	II
168.00 – 203.10	Diorita de textura con fenocristales de plagioclasas, piroxenos y anfíboles; con superficies de alteración en los planos de sistemas de discontinuidades, intersección de venillas de cuarzo y calcita. Roca de buena calidad	Cuarzo, sericita, clorita y óxidos con costras de cloritas rellenas entre las juntas.	84.42	I



Figura 34. Testigos de perforación diamantina DDH –VI-02-16; se observan dos sistemas de discontinuidades dominantes principales, sin relleno, poco alterado. Roca de muy buena consistente dique de dioritas de textura porfídica.

El índice de calidad de roca es muy bueno de  $Q = 77.048$ , la sección de excavación no requiere la instalación de medidas de sostenimiento; además la galería de producción es seca, no hay filtraciones de agua, sólo es húmedo en la bóveda izquierda.

$$Q = \frac{96.31}{2} \times \frac{4}{1} \times \frac{1.0}{2.5} = 77.048$$

$$RMR = 9\ln(70.25) + 44 = 83.099, \text{ roca de buena calidad.}$$

$$GSI = 78$$

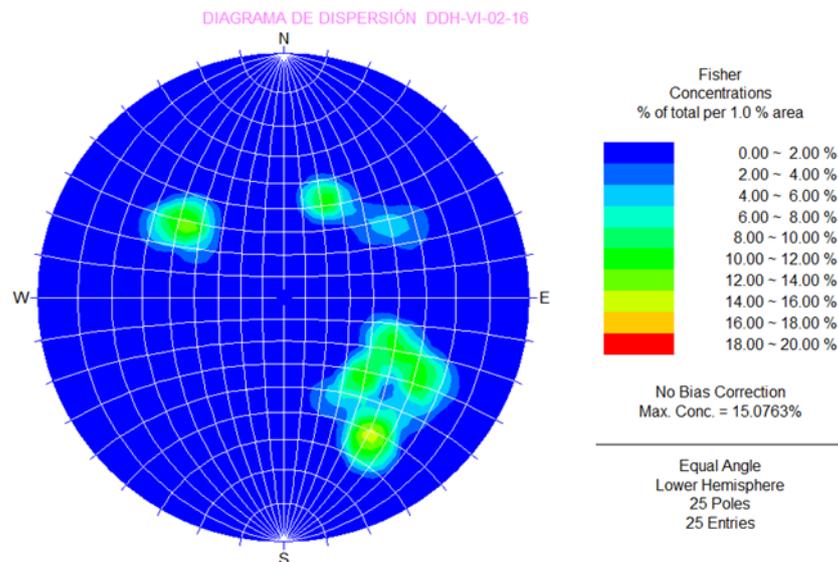


Figura 35. Diagrama de dispersión de la concentración de polos en sondeo DDH-VI-02-16.

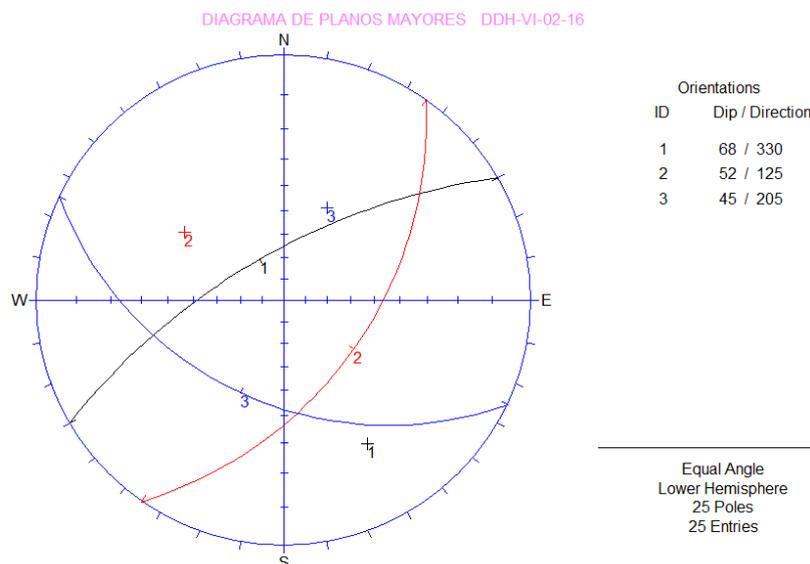


Figura 36. Diagrama de planos mayores de la concentración de polos en sondeo DDH-VI-02-16.

No se generan cuñas inestables, en el análisis de proyección y la concentración de polos en los testigos de perforación diamantina, evaluados con el modelo de excavación y la observación de medidas de sostenimiento, aplicados en el macizo rocoso. El índice geológico de resistencia es de GSI = 78; considerando de la sección de excavación está proyectado en roca de buena calidad.

Nº	Sistemas de discontinuidades		Observaciones
	Buzamiento	Dirección de Bz	
1	68	330	Principal
2	52	125	Secundario
3	45	205	Aleatorio

El sistema de discontinuidades dominantes, en la veta Sangre de Toro, en el sector de la perforación diamantina DDH-VI-02-16, está orientado al dominio andino y no genera ningún grado de deformación mayor. El análisis de cuñas inestables se observa en los hastiales de la sección de excavación; por tanto, la galería se mantiene estable con auto sostenimiento; durante la fase de excavación de la galería a las labores principales de la mina.

**Análisis de cuñas inestables alrededor de la excavación**

Carga máxima de 110 TM, según el sistema de discontinuidades dominantes; con un factor de seguridad en el corte de 7.2 a 4.11, en el inicio de la excavación y al final de la galería de producción.

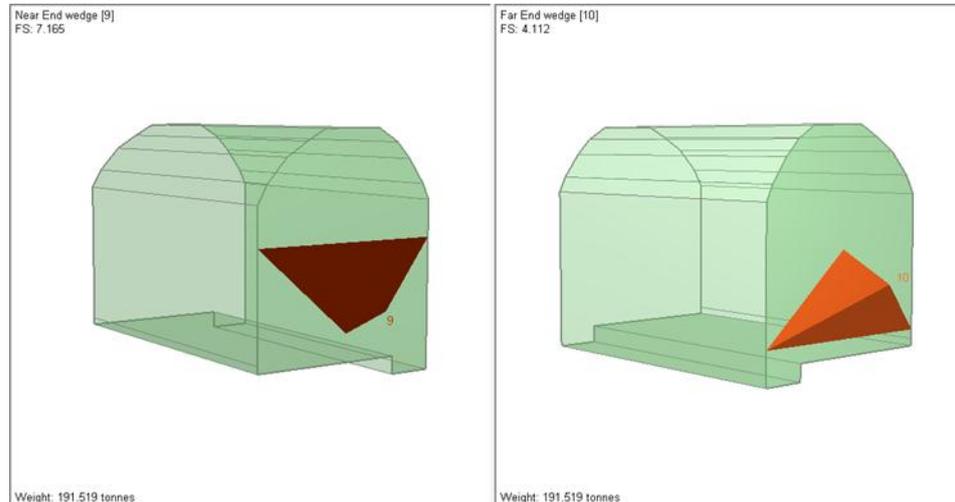


Figura 37. Diseño soporte de carga en el inicio y final de la excavación.

Se muestra diferentes modelos inestables de cuñas posibles, bajo el soporte de cierto número de toneladas en la sección de excavación en la galería de producción, considerando el sircado de la estructura mineralizada.

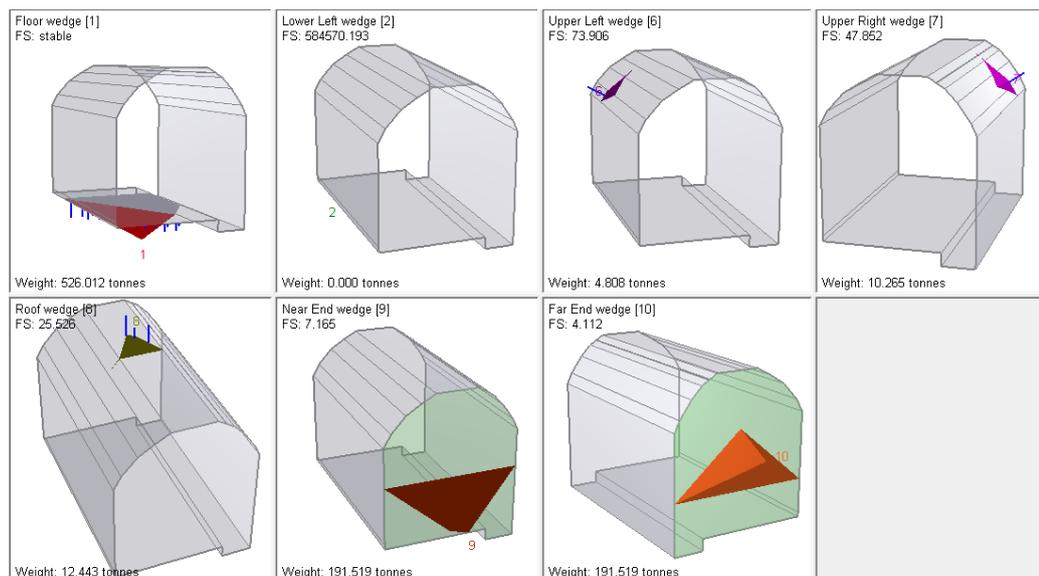


Figura 38. Instalación de pernos de anclaje puntual en las cuñas inestables que se observan en el modelamiento de la sección de excavación de la galería.

## 4.2 COMPORTAMIENTO GEOLÓGICO DEL MACIZO ROCOSO

### 4.2.1 ESTABILIDAD EN LAS EXCAVACIONES SUBTERRÁNEAS

El análisis de estabilidad en la galería producción en la veta Sangre Toro, depende únicamente del comportamiento de los parámetros geomecánicos; que han sido identificados y evaluados durante el logeo de los testigos de perforación diamantina; que en la mayoría de los casos corresponden a roca de tipo I de buena calidad, que son juntas de superficies rugosas. Partir de la intersección de más de dos sistemas de discontinuidades dominantes, son deformado la roca encajonante y generan la inestabilidad en la matriz rocosa; anomalías que se observan en la bóveda central y en el hastial derecho, que podrían generarse la caída de bloques o cuñas inestables de fragmentos rocas, durante el proceso constructivo en el desarrollo de las actividades diarias de excavación y extracción de minerales de valor económico, como el oro.

El análisis de la calidad de roca en granodioritas y el índice GSI y la resistencia uniaxial, datos que se obtienen directamente dentro de las excavaciones subterráneas utilizando el golpe del martillo del geólogo a la matriz rocosa; al igual que el mapeo de planos de discontinuidades y registro lineal; nos permite determina el comportamiento geomecánico de la excavación subterránea; resultados que son analizados con las tablas comparativas propuestas por Bieniawski y Barton en la fase final de la evaluación. El análisis realizado de factor de seguridad de 1.00 hasta 10.82, 7.45 – 23.05; tal como se puede observar en el diseño de las secciones de excavación en la fig. N° 12, sección que garantiza la confianza de auto-sostenimiento; mas por el contrario un proceso de tratamiento, para llegar a mantener estable, para continuar con las excavaciones propuesta hasta la fecha.

El análisis de estabilidad, para continuar con los trabajos de desarrollo con las actividades de perforaciones diamantinas en los diferentes frentes; propuestas a partir del comportamiento de los parámetros geomecánicos; se ha determinado un factor de seguridad de 4.50 valor que servirá para mantener el control de las excavaciones subterráneas; además requiere menor número de medidas de sostenimiento.

En la parte alta de las plataformas de perforación, para evitar desprendimientos y caída de bloques y roca descompuesta; se instalaron pernos de anclaje y aplicación de schotcret, como medidas de sostenimiento preventivo, durante el proceso perforación diamantina y avance de excavación subterránea para realizar trabajos de exploración, muestreos sobre la estructura mineralizada al detalle.

#### 4.2.2 DISEÑO DE EXCAVACIONES SUBTERRÁNEAS

El diseño de las excavaciones subterráneas se determina de acuerdo a la clasificación geomecánica del macizo rocoso, en las diferentes estaciones zonificadas de la galería de producción en la veta Sangre Toro; que consiste en roca tipo III, II y I.

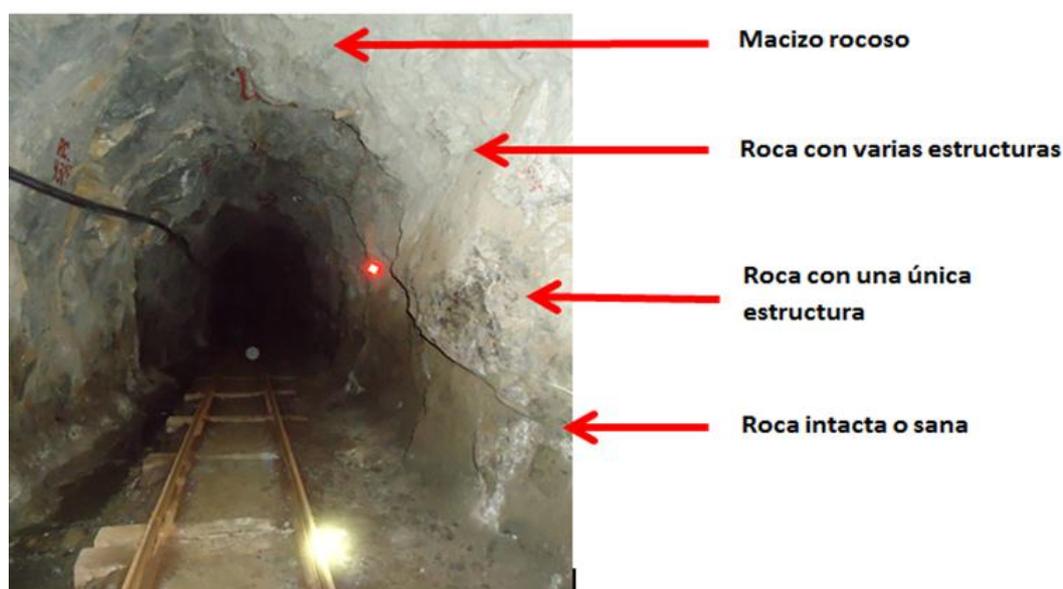


Figura 39. Designación del tipo de macizo rocoso y la calidad de roca en la galería 090 de la veta Buenos Aires

**ROCA DE TIPO III**

MEDIDAS DE SOSTENIMIENTO	CONDICIÓN DE LA ROCA
Instalación de pernos de anclaje puntuales de 1.5 m y aplicación de schotcrete en sección completa y cimbras sitios puntuales. Se requiere instalar drenes de alivio para captar los flujos de aguas subterráneas.	Granodiorita poca fracturada, con cuñas de caída libre en la bóveda central y hastiales. Granodioritas poco meteorizadas rellenas con limo y roca triturada en la superficie de excavación.

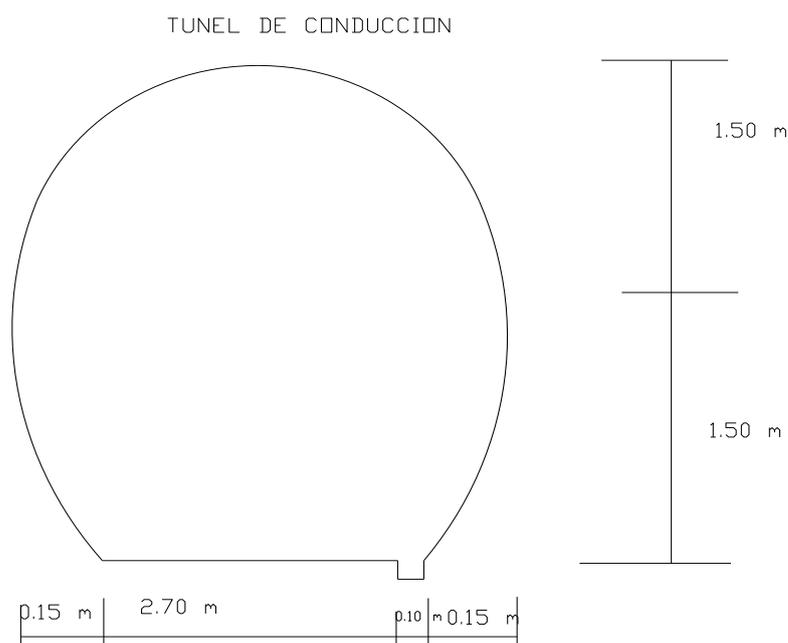


Figura 40. Diseño de excavación y medidas de sostenimiento en roca tipo III.

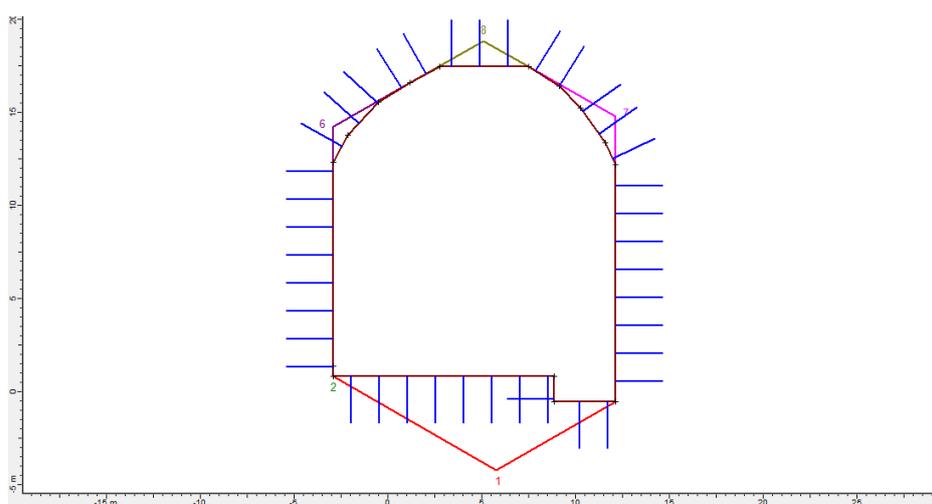


Figura 41. Diseño de instalación de pernos de anclaje en sección completa en roca tipo III.



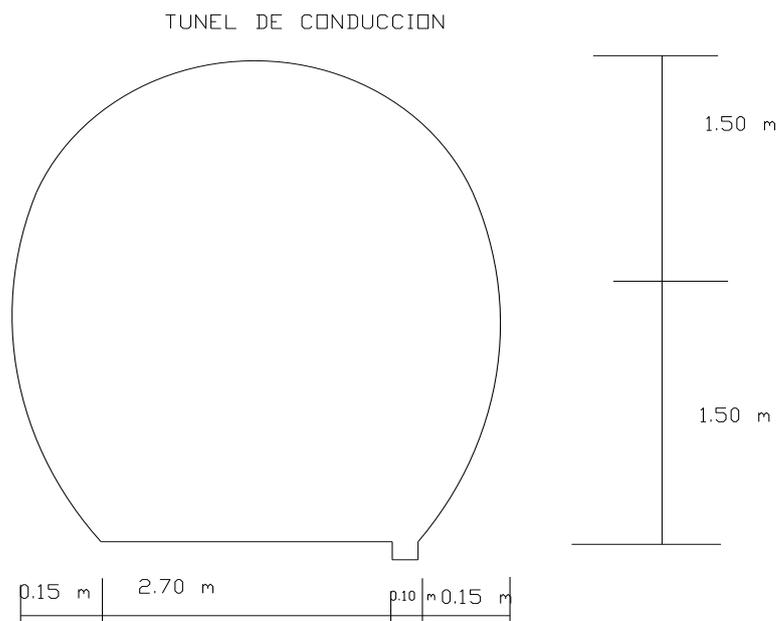


Figura 43. Diseño de excavación y medidas de sostenimiento, para roca tipo II. la sección de la galería, solamente requiere la instalación de pernos de anclaje sistemático con revestimiento de shotcrete en los hastiales y bóveda central.

**ROCA DE TIPO I**

MEDIDAS DE SOSTENIMIENTO	CONDICIÓN DE LA ROCA
Instalación de pernos de anclaje puntuales de 1.5 m sitios puntuales. Se requiere instalar drenes de alivio para liberar esfuerzos en el interior de las excavaciones de piques.	Granodiorita sana, con algunas juntas de intersección, que generan cuñas de caída libre en la bóveda central y en los hastiales, que son muy puntuales.

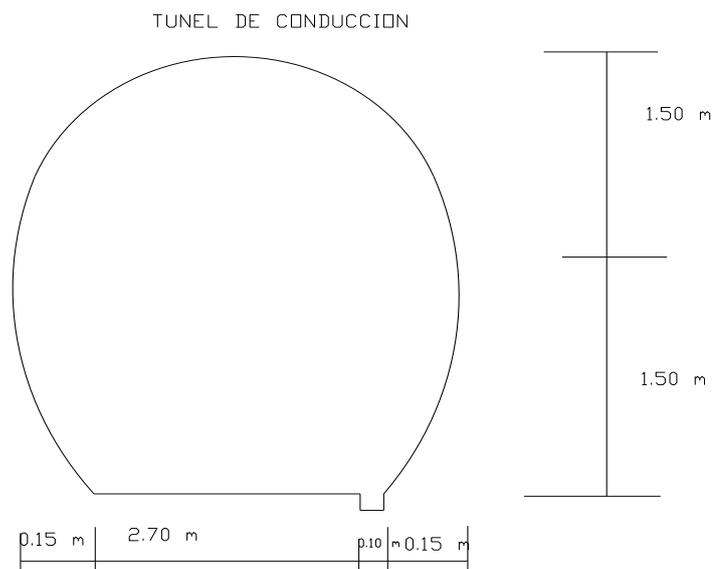


Figura 44. Diseño de excavación y algunas medidas de sostenimiento en roca tipo I

Para el caso de la veta Sangre Taro, una gran parte la clasificación geomecánica del macizo rocoso es roca muy buena calidad; que solamente por seguridad se instala sostenimiento en el inicio de la excavación y las zonas más vulnerables según registro de los testigos de perforación diamantina reportados.

#### **4.2.3 GEOLOGÍA DE LA VETA SANGRE TORO**

Los depósitos de la UEA Soledad ocurre dentro de la franja mineralizada aurífera conocida Nazca - Ocoña, la cual hospeda un grupo de minas y proyectos auríferos de vetas angostas y con alto valor aurífero, estos depósitos ocurren frecuentemente dentro de las unidades rocosas del batolito de la costa, los depósitos son de naturaleza mesotermal, la zona muestra una historia compleja de actividad ígnea, tectónica y actividad hidrotermal. Las rocas ígneas como diorita, monzonitas y granodioritas han sido intruidos por diques aplíticas y lamprofidos. Las vetas son rellenos de fracturas o fallas de rumbo N60°-70°W y muestran cuando menos 2 etapas de mineralización, una con cuarzo-pirita y otra más compleja con nueva pirita, arsenopirita, calcopirita, esfalerita, galena y oro nativo.

## CONCLUSIONES

- Granodiorita de textura porfídica, con superficies de oxidación en los planos de juntas. Se observan fragmentos líticos dentro de la estructura. Roca de buena calidad, que corresponde a la roca de basamento de las estructuras mineralizadas.  
Diorita de textura porfídica con fenocristales de plagioclasas zonadas, anfíboles y cloritas, intersectadas con diques de aplitas; además se observan venillas de cuarzo y calcita paralelos a la, orientación de las discontinuidades; minerales de arcillas en las juntas. Roca de buena.
- El comportamiento de los parámetros geomecánicos en los testigos de perforación diamantina en los seis sondeos; analizados y evaluados, determinan que el macizo rocoso es de muy buena calidad; pequeñas zonas instalables al inicio de las excavaciones subterráneas; que consiste en roca de tipo II y I de RMR 64 – 85, con un índice de  $Q = 77.048$ . al calcular el índice geológico de resistencia  $GSI = 60 - 78$  unidades, valor que se considera; que el tipo de roca en sector de la mina, la roca de caja no requiere medidas de sostenimiento, durante la fase de excavación en la galería de producción, sobre la veta Sangre de Toro.

### RECOMENDACIONES

- Para continuar, con el proceso constructivo de la galería de acceso a las estructuras principales de la veta Sangre de Toro I y II, se recomienda instalar las medidas de convergencias, que controlan el desplazamiento y acortamiento de la sección de excavación.
- Se recomienda instalar cimbras en las zonas de alto riesgo y vulnerables, en la intersección de diques de dioritas a las granodioritas.

**REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS**

1. Acosta et al. (2009) - Memoria Mapa Metalogenético del Perú 2009. INGEMMET. Dirección de Recursos Minerales y Energéticos. Programa de Metalogenia; 17 pp.
2. Alfaro, S.J.M. (2000). "Aplicación de Nuevas Técnicas en el Estudio Ingeniero Geológico de los Macizos Rocosos". Primer Simposio Internacional la Geodesia y la Geomecánica Aplicada a la Construcción: Ciudad de la Habana. 19 – 28 pp.
3. Bieniawski Z. T. (1079). "Geomechanic clasifcation of rock masses and its application to tunneling. Proc II Tnt Congress for rock Mechanic ISMR VOL II.
4. Franco, P. (2002). Alteración Hidrotermal. Trabajos Técnicos en Exploraciones 39 pp.
5. Caldas, J. (1978) - Geología de los cuadrángulos de San Juan, Acarí y Yauca, Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, Serie A: Carta Geológica Nacional, 30-A, 1978, 78 pp.
6. Díaz, H. & Milla, D. (2003) - Revisión y actualización de los cuadrángulos de Jaqui (31-ñ), Cora Cora (31O), Chala (32-ñ) y Chaparra (32-O). Escala 1:100 000. Convenio UNI-Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, 54 pp.
7. Fernández, J. & Amstutz, G. C. (1955) - El yacimiento de fierro sedimentario de cerro Casca o Tarpuy. Fondo documental de INGEMMET.
8. González D.V., L.I. (2003). Ingeniería Geológica, Pearson Educación, Madrid España, 2003, pp. 715.
9. Goodman, R.E. John Wiley, (1989). "Introduction to rock mechanics", Segunda, Edición.
10. Hoek, E., Brown, E.T. (1980). "Underground excavations in rock", Institution of mining and metallurgy, London, 1980, Versión en español por Mc Graw Hill, México.
11. Hoek, E., Brown, E.T. (1980). "Excavaciones Subterráneas en Rocas", Institution of mining and metallurgy, London, 1986, Versión en español por Mc Graw Hill, México. 634 pp.
12. Hoek, E., Bray, L. (1981). "Rock Slope Engineering", Institution of mining and metallurgy, London, 3rd ed.
13. Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (2000) - Estudio de los recursos minerales del Perú, Franja No. 1. INGEMMET. Boletín. Serie B: Geología Económica, n. 8, 196 p., 2000.

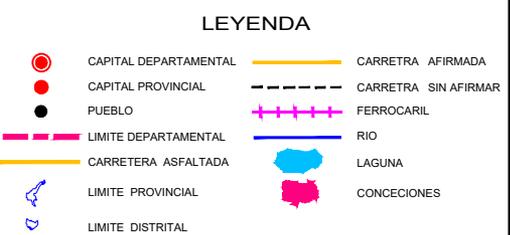
14. Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (2010) - Informes Internos del Programa de Metalogenia de la Dirección de Recursos Minerales y Energéticos, 2010.
15. León, W.; Palacios, O.; Torres, V. (2000) - Sinopsis sobre la revisión de la geología de los cuadrángulos de Atico, Ocoña, Camaná, La Yesera, Aplao, Mollendo. Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, 6 pp.
16. Mendivil, S. & Castillo, W. (1960) - Geología del cuadrángulo de Ocoña hoja 33-p. Boletín. Serie A: Carta Geológica Nacional, vol. 3, 52 pp. Instituto Geológico Minero y Metalúrgico.
17. Olchauski, E. (1980) - Geología de los cuadrángulos de Jaquí, Cora Cora, Chal y Cháparra, Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, Serie A: Carta Geológica Nacional, 34-A, 1980., 81 pp.
18. Palacios, O. (1994) - Geología de los cuadrángulos de Chulca y Cayarani, Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, Serie A: Carta Geológica Nacional, 51-A, 1994., 73 pp. PALACIOS, O. & LEÓN, W. (2000) - Mapa geológico actualizado del cuadrángulo de Mollendo (34-r). INGEMMET, DGR.
19. Sánchez, A. & Zapata, A. (2003) - Memoria descriptiva de la revisión y actualización de los cuadrángulos 29t, 29u, 29v, 29x, 29y, 29z, 30t, 30v, 30x, 30y, 31t,31u,31v,32t,32x. Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, 45 pp.

**WEBGRAFIA**

- <https://web.mst.edu/~rogersda/umrcourses/ge341/Rock%20Mass%20Rating.pdf>
- <https://www.iberlibro.com/buscar-libro/titulo/rock-slope-engineering/libro/>
- <http://www.ingemmet.gob.pe/>
- [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1794-61902013000200012](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1794-61902013000200012)
- [https://www.researchgate.net/publication/261796935\\_ANALISIS\\_DE\\_LAS\\_MEDIDAS\\_CORRECTORAS\\_EN\\_INESTABILIDADES\\_DE\\_TALUDES\\_CON\\_LITOLOGIAS\\_CARBONATADAS\\_TIPO\\_FLYSCH\\_DE\\_LA\\_PROVINCIA\\_DE\\_ALICANTE](https://www.researchgate.net/publication/261796935_ANALISIS_DE_LAS_MEDIDAS_CORRECTORAS_EN_INESTABILIDADES_DE_TALUDES_CON_LITOLOGIAS_CARBONATADAS_TIPO_FLYSCH_DE_LA_PROVINCIA_DE_ALICANTE)



**ANEXOS**



Esc.: P. Ferrandis  
 Esc.: P. Ferrandis  
 Rev.: G. Llerena  
 Apr.: G. Llerena  
 Esp.: 1/200  
 No.: 1458  
 Fecha: Julio - 2018



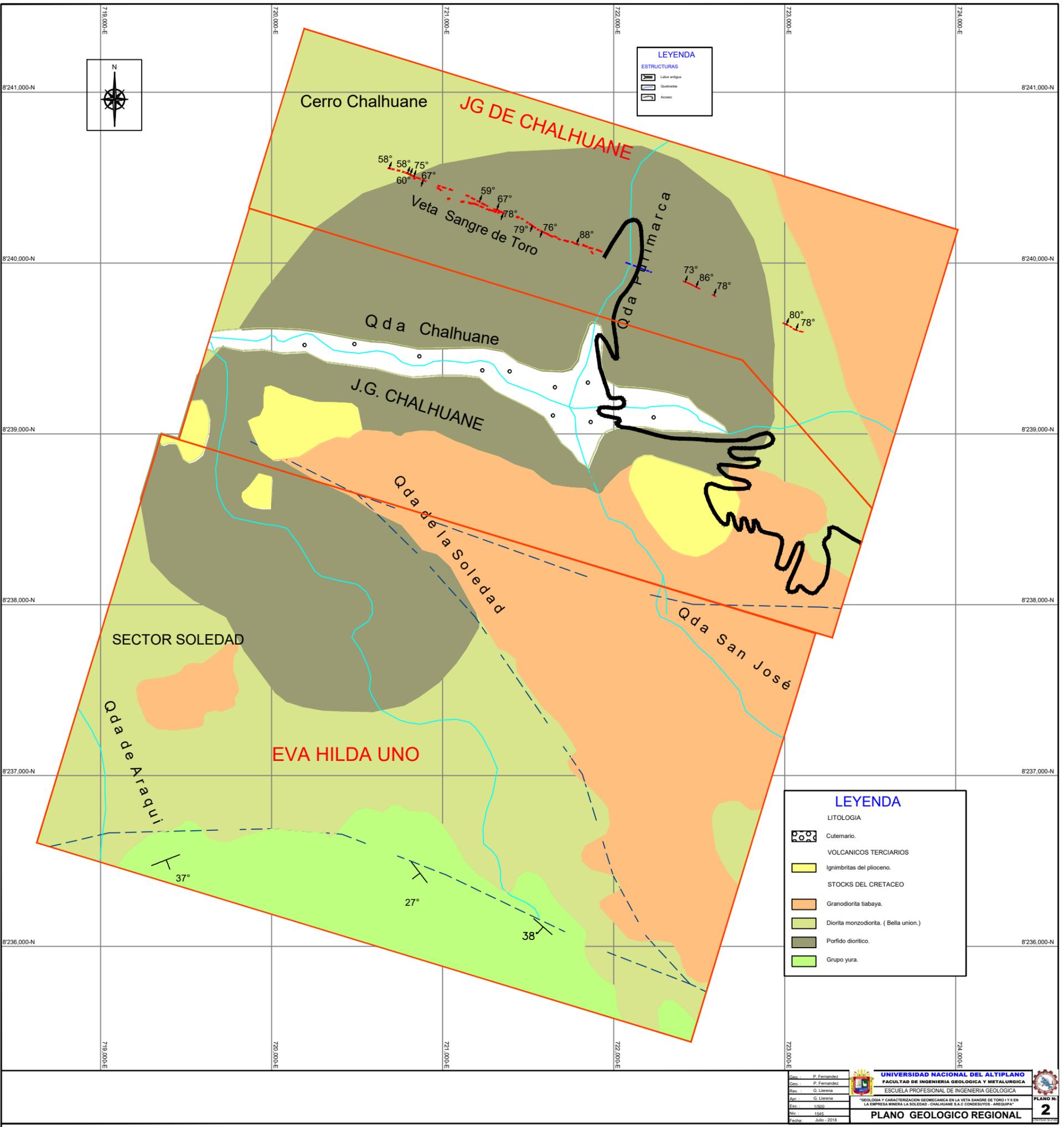
**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA Y METALURGICA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA**

"GEOLOGIA Y CARACTERIZACION GEOMECANICA EN LA VETA SANGRE DE TORO I Y EN LA EMPRESA MINERA LA SOLEDAD - CHALUPANE S.A.C CONDESUOS - AREQUIPA"

**PLANO DE UBICACION**



**PLANO N°**  
**1**



**LEYENDA**

**ESTRUCTURAS**

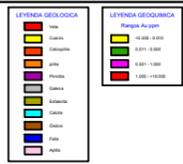
- Labor antiguo
- Quimbadas
- Acceso

**LEYENDA**

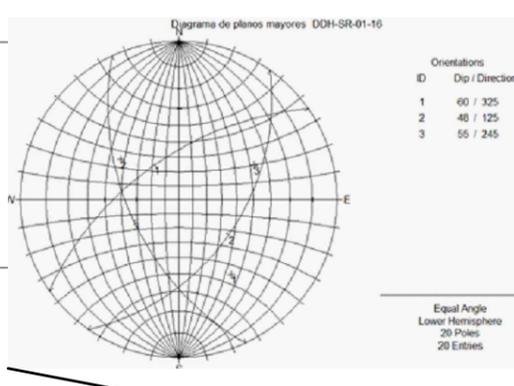
**LITOLOGIA**

- Cutemario.
- VOLCANICOS TERCIARIOS**
- Ignimbritas del plioceno.
- STOCKS DEL CRETACEO**
- Granodiorita tiabaya.
- Diorita monzodiorita. (Bella union.)
- Porfido diorítico.
- Grupo yura.

Geop.:	P. Fernandez	<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO</b> FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA Y METALURGICA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA <small>*GEOLOGIA Y CARACTERIZACION GEOMECANICA EN LA VETA SANGRE DE TORO I Y II EN LA EMPRESA MINERA LA SOLEDAD - CHALHUANE S.A.C CONDESBUYO - AREQUIPA*</small>	<b>PLANO N°</b> <b>2</b>
Geo.:	P. Fernandez		
Min.:	G. Llobera		
Esc.:	19200		
Niv.:	1545		
Fecha:	Julio - 2018	<b>PLANO GEOLOGICO REGIONAL</b>	



N. MUESTRA	ENCUADRE	VECT. O. DIRECCION	COORDENADAS	PROFUNDIDAD	DESCRIPCION	Si	Se	So	Si	So
SA 1001	DDH-SR-01-16	30.48	30.78	0.10	Material constituido por bloques de cuarzo fino de gran tamaño en matriz de roca granodiorita.	0.00	0.11	0.00	0.00	0.00
SA 1002	DDH-SR-01-16	30.78	30.48	0.10	Material constituido por bloques de cuarzo fino de gran tamaño en matriz de roca granodiorita.	0.00	0.11	0.00	0.00	0.00
SA 1003	DDH-SR-01-16	30.48	30.78	0.10	Material constituido por bloques de cuarzo fino de gran tamaño en matriz de roca granodiorita.	0.00	0.11	0.00	0.00	0.00
SA 1004	DDH-SR-01-16	30.78	30.48	0.10	Material constituido por bloques de cuarzo fino de gran tamaño en matriz de roca granodiorita.	0.00	0.11	0.00	0.00	0.00
SA 1005	DDH-SR-01-16	30.48	30.78	0.10	Material constituido por bloques de cuarzo fino de gran tamaño en matriz de roca granodiorita.	0.00	0.11	0.00	0.00	0.00
SA 1006	DDH-SR-01-16	30.78	30.48	0.10	Material constituido por bloques de cuarzo fino de gran tamaño en matriz de roca granodiorita.	0.00	0.11	0.00	0.00	0.00
SA 1007	DDH-SR-01-16	30.48	30.78	0.10	Material constituido por bloques de cuarzo fino de gran tamaño en matriz de roca granodiorita.	0.00	0.11	0.00	0.00	0.00
SA 1008	DDH-SR-01-16	30.78	30.48	0.10	Material constituido por bloques de cuarzo fino de gran tamaño en matriz de roca granodiorita.	0.00	0.11	0.00	0.00	0.00
SA 1009	DDH-SR-01-16	30.48	30.78	0.10	Material constituido por bloques de cuarzo fino de gran tamaño en matriz de roca granodiorita.	0.00	0.11	0.00	0.00	0.00
SA 1010	DDH-SR-01-16	30.78	30.48	0.10	Material constituido por bloques de cuarzo fino de gran tamaño en matriz de roca granodiorita.	0.00	0.11	0.00	0.00	0.00



DDH - SR - 01 - 16  
 AZIMUT = N 208°  
 INCLINACION = + 0°  
 DIST = 138.00 mts

