



**Universidad  
Continental**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

Escuela Académico Profesional de Ingeniería de Minas

Tesis

**Modelamiento Geomecánico de la veta  
Daniela y su implicancia en  
planeamiento**

**Deive Jack Valenzuela Pacheco**

Huancayo, 2018

Para optar el Título Profesional de  
Ingeniero de Minas



Repositorio Institucional Continental  
Tesis digital



Obra protegida bajo la licencia de [Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivadas 2.5 Perú](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.5/peru/)

## **DEDICATORIA**

A mis padres Lino y Luzmila, por haberme dado lo mejor de la vida, por su muestra de valentía y sacrificio para sacar adelante a nuestra familia, por estar en los momentos buenos y malos, y darme los mejores consejos a lo largo de mi vida.

A mis amores Rossy, Sarita y Alessi; por su inmenso amor y cariño, por ser mi motivo de superación, y por quienes trato de ser cada vez mejor hijo, padre, persona y profesional.

A mi gran amigo al Ing. Javier Córdova Blancas, por haberme guiado y orientado en mi desarrollo y crecimiento profesional.

**Deive Jack Valenzuela Pacheco**

## **ASESOR**

Ing. Javier Córdoba Blancas.

## SUMARIO

El presente trabajo de investigación titulado "Modelamiento Geomecánico de la Veta Daniela" en la zona de profundización de Minera Aurífera Retamas, tiene como objetivo principal optimizar el criterio de estabilidad de las excavaciones mineras.

El proyecto se encuentra emplazada dentro del Batolito de Pataz, el cual es el cuerpo intrusivo dominante en la región, con un ancho de 2.5 a 5 Km, tiene una forma alargada aproximadamente 160 km con orientación N30°W, en este intrusivo se hospedan las vetas auríferas. Los dominios litológicos en la zona de estudio son 4: Diorita, Pórfido Granítico, Pórfido Tonalítico y Granito.

Presenta un sistema de fallamiento longitudinal NW-SE, de rumbo sub-paralelo y/o paralelo a las vetas, que originan ensanchamientos (cabalgamiento), acuñamientos y discontinuidad local de las estructuras mineralizadas, muchos de estos son ND (Falla NW-2), ID (Falla Sistema Chilcas), con desplazamientos desde centímetros a varios metros. Presenta otro sistema de fallamiento N-S (Diagonales- Transversales), las cuales son de rumbo N a N-W y alto buzamiento al W, son fallas que se presentan muchas veces agrupadas en bloque como la Falla Los Loros, Falla Chilcas y Falla Sistema Chilcas. Presenta un sistema de fracturamiento local, en forma paralela al sistema de fallas.

La veta Daniela presenta un sistema NW-SE. Las estructuras mineralizadas presentan esfuerzos de compresión en la dirección NE- SW, pero no sólo en una etapa sino en repetidas actividades orogénicas. Las vetas comúnmente se presentan fracturadas y/o craqueladas.

El esfuerzo vertical in-situ, para una profundidad aproximada de 1200 metros es de 4.21 MPa, el valor de la constante "k" = 1.75; el esfuerzo horizontal estaría en el rango de 7.37 MPa. Según el estudio de mediciones Over Coring realizadas en la Unidad, el esfuerzo principal tiene una dirección N15°E-S15°W.

Para excavaciones con orientación de avance paralela al rumbo de la estructura mineralizada, se tiene la formación de cuñas con criterio de falla por deslizamiento. Y para orientación de avance perpendicular al rumbo de la estructura mineralizada, se tiene la formación de cuñas con criterio de falla por gravedad.

Según el análisis de estabilidad controlada por estructuras, el arreglo estructural de la distribución de fallas y diaclasamientos está definido por 3 sistemas principales. El

sistema de discontinuidades dominante, tiene un rumbo NW-SE, con orientación paralela a las estructuras mineralizadas, lo cual indica condiciones de estabilidad muy desfavorable. El segundo sistema de discontinuidades, tiene un rumbo NE-SW, con orientación perpendicular al rumbo de las estructurales mineralizadas, lo cual indica condiciones de estabilidad favorable.

Según el análisis de estabilidad controlada por esfuerzos, el comportamiento tenso-deformacional del macizo rocoso, presenta un Strength Factor mayor a 1.00 en labores insitu y un Strength Factor menor a 1.00 en labores de explotación, indicando que el vector de deformación presenta mayor concentración en la zona de explotación y por lo cual se contrasta una mayor zona plástica. La trayectoria de los esfuerzos principales se concentra en las coronas de las excavaciones y en el nivel base de la zona de explotación.

## ABSTRACT

He presents research work entitled "Geomechanical Modeling of Veta Daniela" in the deepening area of Minera Aurífera Retamas, whose main objective is to optimize the stability criterion of mining excavations.

The project is located within the Batolito de Pataz, which is the dominant intrusive body in the region, with a width of 2.5 to 5 km, has an elongated shape approximately 160 km with orientation N30°W, in this intrusive host the gold veins. The lithological domains in the study area are 4: Diorite, Granitic Porphyry, Tonalitic Porphyry and Granite.

It has a NW-SE longitudinal fault system, with a sub-parallel course and/or parallel to the veins, which cause widening (overrunning), wedging and local discontinuity of the mineralized structures, many of these are ND (Falla NW-2), ID (Falla Sistema Chilcas), with displacements from centimeters to several meters. It presents another fault system N-S (Diagonal-Cross), which are from N to N-W course and high dip to W, are failures that are often grouped in blocks such as Falla Los Loros, Falla Chilcas and Falla Sistema Chilcas. They have local fracturing systems, parallel to the fault system.

The Veta Daniela presents a NW-SE system. The mineralized structures present comprehension strength in the NE-SW direction, but not only in one stage but in repeated orogenic activities. The veins commonly present fractured and / or cracked.

The vertical in-situ strength, for an approximate depth of 1200 meters is 4.21 MPa, the value of the constant "k" = 1.75; the horizontal strength would be in the range of 7.37 MPa. According to the study of Over Coring measurements made in the Unit, the main strength has an N15 ° E-S15 ° W direction.

For excavations with orientation of parallel advance to the course of the mineralized structure, there is the formation of wedges with criterion of slip failure. And for direction of advance perpendicular to the course of the mineralized structure, there is the formation of wedges with criterion of failure by gravity.

According to the stability analysis controlled by structures, the structural arrangement of the distribution of faults and fracturing is defined by 3 main systems. The dominant discontinuity system has a NW-SE bearing, with orientation parallel to the mineralized structures, which indicates very unfavorable stability conditions. The second system of discontinuities, has a NE-SW course, with perpendicular orientation to the course of the mineralized structures, which indicates conditions of favorable stability.

According to the stress-controlled stability analysis, the strength-deformational behavior of the rock mass, presents a Strength Factor greater than 1.00 in insitu work and a Strength Factor less than 1.00 in operation, indicating that the deformation vector has a higher concentration in the exploitation zone and for which a greater plastic area is contrasted. The trajectory of the main strength is concentrated in the crowns of the excavations and in the base level of the exploitation area.

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios, por protegerme, y por brindarme la oportunidad de auto realizarme como persona y como profesional competente.

En especial a las personas que siempre están a mi lado, a mis padres Lino y Luzmila; a mis hermanas Mily y Delcy; y a mis amores Rossy, Sarita y Alessi; quienes llenan de alegría mi vida, por su cariño y el apoyo incondicional que me brindan en cada uno de los desafíos en los que me comprometo.

Esta investigación es el resultado del esfuerzo de un equipo de trabajo conformada por amigos. Por esto agradezco al Ing. Javier Córdova Blancas, Cristian Fernández López, Emerson Torres Llerena y Robert del Rosario, con quienes a lo largo de todo este tiempo se logró poner a prueba conocimientos en el desarrollo de la investigación, la cual ha finalizado cubriendo todas nuestras expectativas.

Así mismo agradezco a todos mis profesores y compañeros de la Universidad, a quienes les debo gran parte de mi conocimiento, gracias a su paciencia, consejos y enseñanzas, los cuales fueron aplicados en la investigación. Finalmente agradezco a esta prestigiosa universidad, la cual me acogió y me preparo para ser un profesional con grandes expectativas y visiones.

**Deive Jack Valenzuela Pacheco**

## **ÍNDICE**

<b>PORTADA .....</b>	<b>i</b>
----------------------	----------

<b>DEDICATORIA.....</b>	<b>ii</b>
<b>ASESOR .....</b>	<b>iii</b>
<b>SUMARIO.....</b>	<b>iv</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>vi</b>
<b>AGRADECIMIENTOS.....</b>	<b>viii</b>
<b>ÍNDICE .....</b>	<b>viii</b>
<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>xii</b>
<b>LISTA DE TABLAS .....</b>	<b>xiv</b>
<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>xv</b>

## **CAPITULO I**

### **PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO**

1.1	Planteamiento del problema .....	17
1.2	Formulación del problema.....	18
1.2.1	Problema general .....	18
1.2.2	Problemas específicos.....	18
1.3	Objetivos .....	19
1.3.1	Objetivo general.....	19
1.3.2	Objetivos específicos .....	19
1.4	Justificación .....	19
1.4.1	Justificación e importancia. ....	19
1.4.2	Limitaciones.....	20
1.5	Hipótesis .....	20
1.5.1	Hipótesis General de investigación .....	20
1.5.2	Hipótesis Específicas.....	20
1.6	Variables .....	20
1.6.1	Variable Independiente.....	20
1.6.2	Variable Dependiente .....	20
1.7	Operacionalización de la variable independiente .....	20
1.7.1	Definición conceptual.....	20
1.7.2	Dimensión .....	20
1.7.3	Indicadores .....	21
1.8	Operacionalización de la variable dependiente .....	21
1.8.1	Definición conceptual.....	21
1.8.2	Dimensión .....	21
1.8.3	Indicadores .....	21

**CAPITULO II**  
**MARCO TEÓRICO**

2.1	Antecedentes de la investigación .....	22
2.1.1	Artículos científicos .....	22
2.1.2	Tesis nacionales e internacionales.....	26
2.1.3	Artículos de divulgación.....	30
2.2	Generalidades.....	31
2.2.1	Ubicación y Acceso .....	31
2.2.2	Geomorfología .....	34
2.2.3	Clima y Vegetación .....	35
2.2.4	Hidrografía .....	35
2.2.5	Historia de la Mina .....	36
2.3	Geología.....	38
2.3.1	Geología Regional.....	38
2.3.2	Geología Local.....	47
2.3.3	Geología Estructural .....	51
2.3.4	Geología Económica.....	53
2.3.5	Metalogenia .....	56
2.3.6	Geología del yacimiento.....	58
2.4	Ciclo de minado .....	59
2.4.1	Ventilación .....	59
2.4.2	Desatado.....	59
2.4.3	Perforación .....	59
2.4.4	Voladura.....	60
2.4.5	Acarreo.....	60
2.4.6	Transporte.....	60
2.5	Bases teóricas.....	61
2.5.1	Caracterización geomecánica .....	61
2.5.2	Discontinuidades de la masa rocosa.....	65
2.5.3	Rasgos estructurales .....	68
2.5.4	Características de las discontinuidades estructurales.....	70
2.5.5	Estado tensional .....	75
2.5.6	Metodología para la estimación de esfuerzos .....	84
2.5.7	Correlaciones entre las clasificaciones geomecánicas .....	87

2.5.8	Criterio de falla de Hoek- and Brown.....	87
2.5.9	Módulo de deformación .....	91
2.5.10	Criterio de rotura de Mohr-Coulomb.....	94
2.5.11	Mapeo geomecánico.....	95
2.5.12	Terminología básica.....	96

**CAPITULO III  
METODOLOGÍA**

3.1	Método, tipo y nivel de la investigación.....	101
1.1.1	Método de la investigación.....	101
1.1.2	Alcances de la investigación.....	101
3.2	Diseño de la investigación .....	101
3.3	Población y muestra.....	101
3.3.1	Población .....	101
3.3.2	Muestra .....	102
3.4	Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	102
3.4.1	Técnicas utilizadas en la recolección de datos.....	102
3.4.2	Instrumentos utilizados en la recolección de datos.....	103

**CAPITULO IV  
ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS**

4.1	Caracterización de la masa rocosa .....	104
4.1.1.	Aspectos Geológicos: .....	104
4.1.2.	Mapeo Geomecánico.....	108
4.1.3	Distribución de Discontinuidades .....	113
4.1.4	Aspecto estructural de las discontinuidades .....	117
4.2	Estudio Geomecánico.....	120
4.2.1	Caracterización geomecánica .....	120
4.2.2	Condición de agua subterránea .....	122
4.2.3	Clasificación Geomecánica.....	123
4.2.5	Estimación del sostenimiento .....	125
4.3	Resistencia de la Roca .....	126
4.3.1	Resistencia de la Roca intacta .....	126
4.3.2	Resistencia de la masa rocosa .....	127
4.4	Esfuerzos In-situ .....	130
4.5	Estabilidad estructuralmente controlada.....	132
4.5.1	Direcciones de avance de las excavaciones – Modo de falla .....	132

4.5.2	Análisis de cuñas.....	132
4.5.3	Estabilidad controlada por esfuerzos .....	136
4.5.3.1	Corte A-A' .....	139
4.5.3.1	Corte B-B' .....	143
4.5.3.1	Corte C-C' .....	146
4.5.3.1	Corte D-D' .....	150
4.5.3.1	Corte E-E' .....	153
4.5.3.1	Corte F-F' .....	157
<b>CONCLUSIONES.....</b>		<b>160</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>		<b>162</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>		<b>163</b>
<b>ANEXOS.....</b>		<b>166</b>

## **LISTA DE FIGURAS**

<b>Figura N° 01:</b>	Plano de ubicación de Minera Aurífera Retamas.....	33
<b>Figura N° 02:</b>	Diagrama Fluvial de la Microcuenca del río Llacuabamba.....	36
<b>Figura N° 03:</b>	Columna Estratigráfica.....	45
<b>Figura N° 04:</b>	Plano Geológico Regional.....	45
<b>Figura N° 05:</b>	Plano Geológico Local de la zona de estudio.....	49
<b>Figura N° 06:</b>	Perfil Geológico (AA') – línea 13200-NE.....	49
<b>Figura N° 07:</b>	Perfil Geológico.....	50
<b>Figura N° 08:</b>	Metalotecto de Patáz en el cinturón Orogénico.....	58
<b>Figura N° 09:</b>	Definición de las unidades geotécnicas básicas por superposición de la litología, la mineralización y la alteración.....	63
<b>Figura N° 10:</b>	Valores de mi para roca intacta (modificada por Marinós & Hoek – 2000).....	64
<b>Figura N° 11:</b>	Planos de estratificación.....	65
<b>Figura N° 12:</b>	Fallas presentes en la estructura rocosa.....	65
<b>Figura N° 13:</b>	Zonas de corte en el macizo rocoso.....	66
<b>Figura N° 14:</b>	Diaclasas en la estructura rocosa.....	66
<b>Figura N° 15:</b>	Planos de foliación.....	66
<b>Figura N° 16:</b>	Zona de contacto.....	67
<b>Figura N° 17:</b>	Venillas.....	67
<b>Figura N° 18:</b>	Discordancia angular.....	68
<b>Figura N° 19:</b>	Pliegues.....	68
<b>Figura N° 20:</b>	Dique.....	69
<b>Figura N° 21:</b>	Chimenea.....	69
<b>Figura N° 22:</b>	Orientación de discontinuidades.....	71
<b>Figura N° 23:</b>	Espaciado de una discontinuidad.....	71

<b>Figura N° 24:</b> Persistencia de una discontinuidad.....	72
<b>Figura N° 25:</b> Rugosidad de una discontinuidad.....	73
<b>Figura N° 26:</b> Apertura de una discontinuidad.....	74
<b>Figura N° 27:</b> Relleno de una discontinuidad.....	74
<b>Figura N° 28:</b> Relevancia del estado tensional en el diseño del sostenimiento.....	77
<b>Figura N° 29:</b> Efectos que contribuyen al estado tensional.....	79
<b>Figura N° 30:</b> Tensión vertical en función a la profundidad.....	79
<b>Figura N° 31:</b> Valoración de la relación entre tensión horizontal media y la vertical en función de la profundidad.....	80
<b>Figura N° 32:</b> Tensión principal inducida alrededor de una galería.....	81
<b>Figura N° 33:</b> Trayectoria de las tensiones principales mayor y menor.....	81
<b>Figura N° 34:</b> Influencia de la forma de la excavación y del k en las máximas tensiones en el contorno de la excavación.....	83
<b>Figura N° 35:</b> Esfuerzos tectónicos.....	87
<b>Figura N° 36:</b> Criterio de Mohr Columb, Johnston and Hoek Brown.....	91
<b>Figura N° 37:</b> Elasto-plastico.....	94
<b>Figura N° 38:</b> Representación de la envolvente de Mohr-Coulomb.....	96
<b>Figura N° 39:</b> Tipos de mapeos.....	97
<b>Figura N° 40:</b> Plano Lito-Estructural Nv. 2320.....	106
<b>Figura N° 41:</b> Plano Lito-Estructural Nv. 2370.....	106
<b>Figura N° 42:</b> Plano Geológico Sección Longitudinal A-A.....	107
<b>Figura N° 43:</b> Plano Geológico Sección Longitudinal B-B.....	107
<b>Figura N° 44:</b> Plano Geológico Sección Longitudinal C-C.....	107
<b>Figura N° 45:</b> Plano Geológico Sección Longitudinal D-D.....	108
<b>Figura N° 46:</b> Plano Geológico Sección Longitudinal E-E.....	108
<b>Figura N° 47:</b> Plano Geológico Sección Longitudinal F-F.....	108
<b>Figura N° 48:</b> Diagrama estereográfico de contornos del compósito de fallas.....	114
<b>Figura N° 49:</b> Diagrama estereográfico de planos principales del compósito de fallas.....	115
<b>Figura N° 50:</b> Diagrama de Roseta del compósito de fallas.....	115
<b>Figura N° 51:</b> Diagrama estereográfico de contornos del conjunto de discontinuidades.....	116
<b>Figura N° 52:</b> Diagrama estereográfico de planos principales del compósito de discontinuidades.....	117
<b>Figura N° 53:</b> Diagrama de roseta del compósito de discontinuidades.....	117
<b>Figura N° 54:</b> Diagrama de Frecuencia tipo de relleno de Fallas.....	119
<b>Figura N° 55:</b> Diagrama de Frecuencia espesor de relleno de Fallas.....	119
<b>Figura N° 56:</b> Diagrama de Frecuencia espaciamento de discontinuidades.....	120
<b>Figura N° 57:</b> Diagrama de Frecuencia tipo de relleno de discontinuidades.....	120
<b>Figura N° 58:</b> Diagrama de Frecuencia espesor de relleno de discontinuidades.....	120
<b>Figura N° 59:</b> Plano Geomecanico Nv. 2370.....	125
<b>Figura N° 60:</b> Plano Geomecanico Nv. 2320.....	126
<b>Figura N° 61:</b> Propiedades mecánicas del macizo rocoso (Diorita).....	129
<b>Figura N° 62:</b> Propiedades mecánicas del macizo rocoso (Granito).....	130
<b>Figura N° 63:</b> Propiedades mecánicas del macizo rocoso (Granodiorita).....	130
<b>Figura N° 64:</b> Propiedades mecánicas del macizo rocoso (Porfido Granítico).....	130
<b>Figura N° 65:</b> Propiedades mecánicas del macizo rocoso (Tonalita).....	131
<b>Figura N° 66:</b> Plano de encampane de la zona de profundización.....	132

<b>Figura N° 67:</b> Análisis de estabilidad de cuñas en excavación perpendicular a la estructura mineralizada.....	135
<b>Figura N° 68:</b> Sostenimiento en el análisis de estabilidad de cuñas en excavación perpendicular a la estructura mineralizada.....	135
<b>Figura N° 69:</b> Análisis de estabilidad de cuñas en excavación paralelo a la estructura mineralizada.....	136
<b>Figura N° 70:</b> Sostenimiento en el análisis de estabilidad de cuñas en excavación paralela a la estructura mineralizada.....	136
<b>Figura N° 71:</b> Plano de Nv. 2320-2370 para sección longitudinal.....	138
<b>Figura N° 72:</b> Plano de Cortes para Análisis Tenso-deformacional.....	139
<b>Figura N° 73:</b> Sección Transversal Geológica Corte A-A.....	140
<b>Figura N° 74:</b> Factor de Seguridad - Simulación del Minado Corte A-A.....	141
<b>Figura N° 75:</b> Vector de deformación - Simulación del Minado Corte A-A.....	141
<b>Figura N° 76:</b> Trayectorias de Esfuerzo - Simulación del Minado Corte A-A.....	142
<b>Figura N° 77:</b> Esfuerzo Mayor - Simulación del Minado Corte A-A.....	142
<b>Figura N° 78:</b> Sección Transversal Geológica Corte B-B.....	144
<b>Figura N° 79:</b> Factor de Seguridad - Simulación del Minado Corte B-B.....	144
<b>Figura N° 80:</b> Vector de deformación - Simulación del Minado Corte B-B.....	145
<b>Figura N° 81:</b> Trayectorias de Esfuerzo - Simulación del Minado Corte B-B.....	145
<b>Figura N° 83:</b> Esfuerzo Mayor - Simulación del Minado Corte B-B.....	146
<b>Figura N° 83:</b> Sección Transversal Geológica Corte C-C.....	147
<b>Figura N° 84:</b> Factor de Seguridad - Simulación del Minado Corte C-C.....	148
<b>Figura N° 85:</b> Vector de deformación - Simulación del Minado Corte C-C.....	148
<b>Figura N° 86:</b> Trayectorias de Esfuerzo - Simulación del Minado Corte C-C.....	149
<b>Figura N° 87:</b> Esfuerzo Mayor - Simulación del Minado Corte C-C.....	149
<b>Figura N° 88:</b> Sección Transversal Geológica Corte D-D.....	151
<b>Figura N° 89:</b> Factor de Seguridad - Simulación del Minado Corte D-D.....	151
<b>Figura N° 90:</b> Vector de deformación - Simulación del Minado Corte D-D.....	152
<b>Figura N° 91:</b> Trayectorias de Esfuerzo - Simulación del Minado Corte D-D.....	152
<b>Figura N° 92:</b> Esfuerzo Mayor - Simulación del Minado Corte D-D.....	153
<b>Figura N° 93:</b> Sección Transversal Geológica Corte E-E.....	154
<b>Figura N° 94:</b> Factor de Seguridad - Simulación del Minado Corte E-E.....	155
<b>Figura N° 95:</b> Vector de deformación - Simulación del Minado Corte E-E.....	155
<b>Figura N° 96:</b> Trayectorias de Esfuerzo - Simulación del Minado Corte E-E.....	156
<b>Figura N° 97:</b> Esfuerzo Mayor - Simulación del Minado Corte E-E.....	156
<b>Figura N° 98:</b> Sección Transversal Geológica Corte F-F.....	158
<b>Figura N° 99:</b> Factor de Seguridad - Simulación del Minado Corte F-F.....	158
<b>Figura N° 100:</b> Vector de deformación - Simulación del Minado Corte F-F.....	159
<b>Figura N° 101:</b> Trayectorias de Esfuerzo - Simulación del Minado Corte F-F.....	159
<b>Figura N° 102:</b> Esfuerzo Mayor - Simulación del Minado Corte F-F.....	160

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla N° 01:</b> Acceso por vía terrestre.....	32
<b>Tabla N° 02:</b> Acceso por vía aérea.....	32

<b>Tabla N° 03:</b> Registro del Mapeo Geomecanico de Labores Nv. 2370-2320.....	110
<b>Tabla N° 04:</b> Caracterización Geomecánica Nv. 2320.....	111
<b>Tabla N° 05:</b> Caracterización Geomecánica RP Patrick 3.....	112
<b>Tabla N° 06:</b> Caracterización Geomecánica Nv. 2370.....	113
<b>Tabla N° 07:</b> Valor promedio de la calidad geomecánica para la Diorita.....	122
<b>Tabla N° 08:</b> Valor promedio de la calidad geomecánica para el Granito.....	122
<b>Tabla N° 09:</b> Valor promedio de la calidad geomecánica para la Granodiorita.....	122
<b>Tabla N° 10:</b> Valor promedio de la calidad geomecánica para la Microdiorita.....	123
<b>Tabla N° 11:</b> Valor promedio de la calidad geomecánica para la Tonalita.....	123
<b>Tabla N° 12:</b> Calidad de la masa rocosa por tipo de roca.....	124
<b>Tabla N° 13:</b> Equivalencia GSI y RMR.....	126
<b>Tabla N° 14:</b> Recomendación de Sostenimiento.....	127
<b>Tabla N° 15:</b> Resultado de los ensayos de compresión triaxial.....	128
<b>Tabla N° 16:</b> Propiedades de la Resistencia de la masa rocosa.....	129
<b>Tabla N° 17:</b> Esfuerzo principal mayor y menor.....	132

## **INTRODUCCIÓN**

La Geomecánica es la aplicación de principios geológicos y de ingeniería al comportamiento de los suelos, del agua subterránea y al uso de estos principios a la ingeniería civil, **ingeniería de minas**, ingeniería de costos e ingeniería ambiental en el sentido más amplio. Esta definición de geomecánica es casi sinónimo del término ingeniería geotécnica, la cual es definida como “la aplicación de la ciencia de mecánica de suelos, mecánica de rocas, ingeniería geológica y de otras disciplinas relacionadas a la construcción en ingeniería civil, las industrias de extracción y a la preservación y mejora del ambiente. (Australian Geomechanics Society)

La geomecánica dentro de la actividad minera, viene a ser una de las principales áreas que sustenta el correcto desarrollo de las operaciones mineras, por ende, estimar el comportamiento mecánico del macizo rocoso es una herramienta útil para administrar el riesgo durante el proceso de excavaciones. Un análisis geomecánico alerta de ciertas amenazas de inestabilidad y contribuye a determinar el tipo de sostenimiento en función a lo necesario, oportuno y suficiente para controlar la inestabilidad de las excavaciones. Principalmente sirve de sustento al diseño, planeamiento y operación minera con la finalidad de mejorar los estándares de seguridad.

En el **capítulo I: Planteamiento de estudio**, se desarrolla el planteamiento del problema a investigar, con la finalidad de optimizar el criterio de estabilidad de las excavaciones mineras en profundización.

En el **capítulo II: Marco teórico**, se desarrollan los aspectos generales de la Unidad Minera, aspectos geológicos de la zona de estudio, y la información teórica de principios y leyes.

En el **capítulo III: Metodología**, se desarrolla el método de investigación aplicada en un nivel descriptivo, considerando que el método desarrollado es el inductivo-deductivo, con diseño de investigación descriptiva.

En el **capítulo IV: Análisis e interpretación de resultados**, se desarrolla la caracterización de la masa rocosa, el estudio geomecánico, la evaluación de la resistencia de la roca, la evaluación de los esfuerzos in-situ, y el análisis de la estabilidad estructuralmente controlada por esfuerzos y estructuras principales.

Se finaliza con las conclusiones y recomendaciones, las fuentes bibliográficas y los anexos.

# CAPITULO I

## PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

### 1.1 Planteamiento del problema

La minería a nivel mundial se ha constituido en uno de los pilares fundamentales de la economía nacional, generando grandes ingresos al fisco por conceptos de impuestos y regalías. En los últimos años debidos a la gran cantidad de reservas minerales con los que cuenta nuestro país y bajo una legislación promotora de la inversión en minería, se han desarrollado nuevos e importantes proyectos mineros en yacimientos de gran potencial económico, los cuales son más que satisfactorios debido a que contribuyen y fortalecen el desarrollo del país en los diferentes sectores.

La geomecánica dentro de la actividad minera, viene a ser una de las principales áreas que sustenta el correcto desarrollo de las operaciones mineras, por ende, estimar el comportamiento mecánico del macizo rocoso puede ser una herramienta útil para administrar el riesgo durante el proceso de excavaciones subterráneas. Esto debido a que se previene de ciertas amenazas de inestabilidad; ayuda a redefinir las fases de excavación en ciertos sectores; y a definir el tipo, cantidad y oportuna instalación del sostenimiento. Todos estos procesos a largo plazo se traducen también en una optimización global de las operaciones mineras.

Dentro de un proyecto minero, la geomecánica brinda la confiabilidad al desarrollo de las obras subterráneas, basándose en un sustento científico-técnico que controla parámetros asociados a la seguridad. Debido a la gran importancia como ciencia, ha encontrado su máximo exponente en los últimos años, siendo indispensable que todos los proyectos de túneles se realicen bajo la supervisión de un experto en geotecnia.

(López Jimeno, 2005), hace mención que, “En los últimos años los cálculos estructurales relacionadas con las obras subterráneas han experimentado un importante desarrollo, principalmente debido a la mejora de la potencia de los ordenadores...”

(Córdova Rojas, 2008), hace mención que, “La geomecánica ligada a la seguridad, significa reducir el número y frecuencia de caídas de rocas, y así evitar o minimizar los daños al personal y a los equipos. Este es un tema

sumamente importante en el Perú por las estadísticas de accidente fatales ocurridos en las minas, lo cual ha motivado en la última década que todos los organismos vinculados con la minería lleven a cabo acciones para combatir estas fatalidades”.

Una de las principales actividades que se realiza, es la caracterización geomecánica del macizo rocoso, constituyendo el estudio integral del macizo rocoso, que incluye tanto el modelo geológico como el geomecánico, abarcando aspectos tales como; estructuras del macizo, litología, discontinuidades, contactos, geomorfología, cartografía geológica, estudio hidrogeológico, técnicas geofísicas, sondeos, ensayos in situ, ensayos de laboratorio y clasificaciones geomecánicas. Convirtiéndose la caracterización geomecánica del macizo rocoso en una herramienta indispensable para determinar el comportamiento del macizo rocoso.

Minera Aurífera Retamas S.A., cuenta con especialistas en el área de geomecánica, los cuales buscan optimizar el desarrollo de la actividad bajo parámetros geomecánicos. Desde un punto vista geomecánico, la zona de Valeria IV cuenta con la estructura más importante y crítica, denominada Veta Daniela, en donde se realizan evaluaciones y estudios detallados para determinar los controles de estabilidad. Se tiene la presencia de esfuerzos tensionales sumado a ciertos factores influyentes, los cuales modifican y varían de cierta manera la estabilidad de las excavaciones, según modelamiento en fases. Se pretende investigar la manera en la que se pueda lograr optimizar el criterio de estabilidad de las excavaciones mineras en el planeamiento de la veta Daniela.

## **1.2 Formulación del problema**

### **1.2.1 Problema general**

- ¿Cómo lograr optimizar el criterio de estabilidad de las excavaciones mineras en el planeamiento de la veta Daniela 2018?

### **1.2.2 Problemas específicos**

- ¿Cuál es la clasificación geomecánica de los dominios litológicos de la zona de profundización?
- ¿Cuáles son los factores que controlan la estabilidad de la excavación?

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 Objetivo general**

- Optimizar el criterio de estabilidad de las excavaciones mineras en el planeamiento de la veta Daniela en el periodo 2018.

### **1.3.2 Objetivos específicos**

- Determinar la clasificación geomecánica de los dominios litológicos de la zona de profundización.
- Determinar los factores que controlan la estabilidad de la excavación.

## **1.4 Justificación**

### **1.4.1 Justificación e importancia.**

El estudio desarrollado proporciona importantes beneficios en investigaciones mineras, brindando un sustento en la etapa inicial de la inversión de proyectos mineros, con lo cual se puede lograr establecer un ambiente favorable al incremento de utilidades bajo parámetros geomecánicos.

En la actualidad la rentabilidad se ha convertido en un eje fundamental dentro de la gestión de costos, ya que garantiza la estabilidad de una empresa y permite que logre sus objetivos en base a condiciones de mejora.

Mejorar el enfoque en la organización, para alcanzar los objetivos de corto, mediano y largo plazo, en función a un diseño adecuado en el planeamiento de las operaciones mineras.

Permitirá reducir y/o eliminar los incidentes y accidentes por caída de rocas, asociado a un control de estabilidad del macizo rocoso. La mejora en resultados implica optimización.

Asociar criterios entre las diferentes áreas para diseñar y planificar el proceso explotación, cumpliendo con los parámetros establecidos en la parte legal.

## **1.4.2 Limitaciones**

Para el desarrollo de la investigación se contó con ciertas limitaciones, como el acceso a la información privada, los cuales son de confidencialidad. El manejo de la información tiene que ser de manera eficiente.

## **1.5 Hipótesis**

### **1.5.1 Hipótesis General de investigación**

- La optimización del criterio de estabilidad se logra mediante un modelamiento geomecánico, el cual permite una estabilidad estructuralmente controlada.

### **1.5.2 Hipótesis Específicas**

- Es factible determinar la clasificación geomecánica de los dominios litológicos de la zona de profundización.
- Es factible determinar los factores que controlan la estabilidad de la excavación.

## **1.6 Variables**

### **1.6.1 Variable Independiente**

- Caracterización geomecánica.

### **1.6.2 Variable Dependiente**

- Modelamiento Geomecánico.

## **1.7 Operacionalización de la variable independiente**

### **1.7.1 Definición conceptual**

- Conjunto de actividades que permitan realizar el análisis del macizo rocoso bajo los controles: estructural, mineralógico y litológico

### **1.7.2 Dimensión**

- Ensayos Insitu.
- Ensayos de laboratorio.
- Clasificación del macizo rocoso.
- Zonificación Geomecánica.

### **1.7.3 Indicadores**

- Relación de esfuerzos insitu.
- Relación de esfuerzos inducidos.
- % tipo de roca.

## **1.8 Operacionalización de la variable dependiente**

### **1.8.1 Definición conceptual**

- Conjunto de operaciones matemáticas para modelamientos numéricos que permitan representar gráficamente el comportamiento de ciertas estructuras en minería

### **1.8.2 Dimensión**

- Estabilidad.
- Sostenimiento.

### **1.8.3 Indicadores**

- Factor de Seguridad
- Relación de Esfuerzos Mayores y Menores.

## CAPITULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Antecedentes de la investigación

##### 2.1.1 Artículos científicos

El artículo científico de (Calada Tamames & Galera Fernández), que tiene como título **“Investigación y caracterización geológico-geotécnica para el proyecto de túneles”**. **Objetivo.** Conocer y cuantificar los atributos más relevantes en función a las características de la obra, en lo que se denomina modelo geotécnico del terreno, con el objeto de definir los parámetros que deben ser utilizados en el análisis tenso-deformacional de las Secciones Tipo. **Método.** La investigación se realizó en 4 fases: la primera consiste en trabajos de campo, de carácter preliminar, que dan como resultados la planificación de las otras actividades; la segunda consiste en trabajos de campo como la geofísica, los sondeos y ensayos in situ; la tercera consiste en ensayos de laboratorio; la cuarta fase está constituida por los trabajos de gabinete, y suponen la caracterización geomecánica de la roca intacta, macizo rocoso y discontinuidades estructurales. **Resultados.** Los datos del terreno se presentan en un perfil geotécnico, elaborado a partir de un perfil longitudinal, donde incluye un perfil estratigráfico, datos geométricos de la excavación, propiedades mecánicas macizo rocoso, nivel freático, método de excavación y secciones constructivas. **Conclusiones.** Los túneles constituyen un punto singular en el proyecto de construcción de una obra lineal, ya que se tiene que conocer con una precisión razonable las características geotécnicas de los materiales a excavar. Los datos geotécnicos de campo y laboratorio deben ser adecuadamente analizados a fin de definir las propiedades del terreno. Las discontinuidades presentes en el terreno hacen que exista un apreciable efecto escala entre las propiedades determinadas en laboratorio y las reales.

El artículo científico de (Suarez Burgoa, Valencia González, Ordóñez Carmona, Navarro Montoya, & Hidalgo Gómez, 2009), que tiene como título **“Ingeniería de rocas en el túnel de conducción superior del proyecto hidroeléctrico Porce III, Colombia”**. **Objetivo.** Describir el comportamiento mecánico del macizo rocoso que alberga las obras subterráneas de conducción del Proyecto Hidroeléctrico de Porce III durante su excavación a través del empleo de un modelo numérico esfuerzo-deformación, como parte

de una introducción al método de Aproximación por Modelamiento Observacional (OMA). Describir las características y condiciones geomecánicas del macizo rocoso en el túnel. Plantear el modelo mecánico apropiado del macizo rocoso que albergan a las obras subterráneas del túnel.

**Metodología.** Se desarrolló en 4 etapas; la primera consiste en la toma de datos y cálculos iniciales para armar el modelo; la segunda consiste en el armado del modelo numérico, conjuntamente con el análisis de modelos teóricos para la estimación del comportamiento del macizo rocosos; la tercera consiste en el proceso de desarrollo de información a partir de observaciones de campo; el cuarto consiste en la verificación final del modelo.

**Resultados.** El túnel tiene 2 familias de discontinuidades predominantes y una tercera familia menos predominante antes de la Falla El Castillo y después de la Falla El Salado. El macizo rocoso presenta unas características elásticas variables. Las zonas de esfuerzos inducidos por el proceso de excavación, presenta concentraciones mayores alrededor de las zonas laterales de la sección circular y en las esquinas inferiores. Las zonas perturbadas variaron levemente manteniendo una forma constante en todos los tramos. Los factores de esfuerzos son mayores a 2, mostrando buena seguridad a cualquier falla de resistencia.

**Conclusiones.** El macizo rocoso presenta un comportamiento más complejo, que difiere de un comportamiento continuo en zonas cercanas a la excavación, donde se presenta un estado de esfuerzos que en conjunto con las familias de discontinuidades crean bloques inestables que no pueden ser representados por modelos continuos. Un modelo elastoplástico de fundamento continuo de un material elástico lineal isotrópico, no necesariamente puede ser apropiado para las condiciones complejas de ciertos macizos rocosos. Los objetivos que se buscan son el minimizar costos, aumentar la certeza del comportamiento del macizo rocoso y disminuir todo tipo de riesgo, sea este cuantificado en vidas humanas, cantidades de problemas durante la construcción, tiempo de ejecución, o costos totales.

El artículo científico de (Torres Yupanqui, Ruíz Castro, Daga Huaricancha, & Vizcarra Arana, 2010), que tiene como título **“Geomecánica aplicada al control de las labores mineras para la minimización de caída de rocas en la Mina Madrugada Cía. Minera Huinac SAC - Ancash-2009”**.

**Objetivos.** Aplicar la geomecánica al Yacimiento Minero Madrugada, toda vez que la UEA Admirada Atila aplica métodos subterráneos para la

explotación de su yacimiento polimetálico con contenidos de minerales de plomo, plata, zinc y cobre, y a la fecha no tiene un conocimiento real de las consideraciones cualitativas y cuantitativas del macizo rocoso. Lograr optimizar los resultados de la operación minera. **Métodos.** La metodología de investigación es aplicada del tipo descriptivo y de corte transversal. **Técnicas de procesamiento.** Se realizó el levantamiento litológico estructural mediante el método de detalle lineal, determinando las características de las discontinuidades, rumbo, buzamiento, azimut y dirección de buzamiento. Así como relleno, persistencia, rugosidad, espaciamiento de discontinuidades y presencia de agua. Mediante la clasificación geomecánica RMR Y Q de Barton se determina la calidad del macizo rocoso. **Resultados.** Empleando el criterio de falla de Hoek-Brown, los resultados son ingresados al software phase II para analizar los esfuerzos inducidos alrededor de la excavación. En un tipo de roca buena, los esfuerzos insitu alrededor de la excavación no afectan la estabilidad. En un tipo de roca regular, los esfuerzos insitu alrededor de la excavación tienen un efecto insignificante para la estabilidad. En labores con mineral y roca regular se puede observar pandeo en el techo y hastiales, por lo tanto requiere sostenimiento inmediato, debido a las altas tensiones y la baja resistencia del mineral. **Conclusiones.** Se determinó las características geomecánicas del macizo rocoso (mineral-roca). Los rangos de abertura son; para caja piso, considerando que es temporal – ESR (3.00), 3.00 m como promedio máximo de abertura sin sostenimiento, y en caso del RMR sin sostenimiento promedio de 1.00 m, para Mineral, considerando que es permanente – ESR (1.6), 3.00 m. como promedio máximo de abertura sin sostenimiento, y en caso del RMR sin sostenimiento promedio de 2.00 m, para caja techo, considerando que es temporal – ESR (1.6), 2.00 m. como promedio máximo de abertura sin sostenimiento, y en caso del RMR sin sostenimiento promedio de 3.00 m.

El artículo científico de (Gallardo Amaya, Guerrero Barbosa, & Macgregor Torrado, 2013), que tiene como título “**Investigación geotécnica para la estabilización de las laderas del barrio San Fermín, Municipio de Ocaña, departamento de Norte de Santander (Colombia)**”. **Objetivos.** Establecer las condiciones de inestabilidad de la ladera del barrio San Fermín mediante la implementación del método de los factores de valuación. **Métodos.** Se desarrollaron 3 estudios; estudio topográfico, con la finalidad de generar un modelo de elevación digital; estudio geológico, con descripción litológica

detallada de los materiales y perfil estratigráfico; estudio geotécnico, con sondeos y calicatas en la parte baja, alta y media de la ladera. **Resultados.** El cálculo de estabilidad de una ladera arroja como resultado el factor de seguridad contra el deslizamiento o rotura del talud, se tiene valores que oscilan entre 1.2 y 1.5. En la naturaleza existen factores que condicionan la estabilidad de una ladera y otros que la alteran; a estos se les llama factores condicionantes y desencadenantes de la estabilidad. **Conclusiones.** Se realizó una descripción de los suelos de la zona de estudio. Realizando un análisis cuantitativo con el software Slope/w se determinaron los sectores que presentan amenaza al deslizamiento y condiciones inestables. Realizando el análisis cualitativo de la estabilidad, se logró establecer el grado de prioridad con el que se deben implementar obras de estabilización.

El artículo científico de (Lozano Montañez, William, & Andrés Camacho, 2012), que tiene como título “**Estudio geomecánico para el diseño minero a cielo abierto del yacimiento de carbón en Rondón - Boyacá**”. **Objetivo.** Proporcionar el soporte técnico de una etapa de exploración a una nueva fase de explotación. **Métodos.** Se desarrollaron en 5 etapas; primera, se evalúa las informaciones preliminares y se establece un modelo geológico en 3D y cálculo de recursos; segundo, descripción litológica del sondaje y obtención de muestras para estudios geotécnicos; tercera, se realiza la clasificación del macizo rocoso; quinto, diseño del Open Pit según análisis de laboratorio. **Resultados.** Se tiene la caracterización del macizo rocoso según; número y orientación de familias de discontinuidades, espaciado, rugosidad, abertura, relleno, clasificación del macizo rocoso a partir de compresión simple en roca, clasificación del macizo rocoso, ensayos de laboratorio, y la obtención de parámetros de suelos. **Conclusiones.** Se pretende extraer material de carbón, y material de roca. En el desarrollo e implementación del proyecto se evalúan programas geológicos, geotécnicos y ambientales para un buen desarrollo en la producción, con lo cual garantiza una buena vida útil y eficaz en su explotación. Se pretende desarrollar un minado Open Pit con una relación de talud 20:5 con ángulo de inclinación de 50 grados en el flanco oriental y 35 grados en el flanco occidental, nos arroja un factor de seguridad mayor a 1.0.

### 2.1.2 Tesis nacionales e internacionales

(Córdova Rojas, 2008), realizó la investigación de posgrado: “**Geomecánica en el minado subterráneo caso Mina Condestable**”. Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica. La investigación llegó a las siguientes conclusiones: “La ingeniería de minas moderna ha adoptado a la geomecánica como una herramienta tecnológica importante para lograr mejores condiciones de seguridad y eficiencia en las operaciones mineras. [...]. Los componentes de un programa geomecánico involucran: la caracterización del sitio, la formulación del modelo mina, los análisis de diseño, el monitoreo del rendimiento de la roca y los análisis retrospectivos. [...]. La zonificación geomecánica de la masa rocosa ha indicado que los dominios estructurales están asociados al tipo de roca, [...]. Los resultados del análisis de estabilidad controlado por esfuerzos, pueden ser tomados como información básica para el planeamiento y diseño de las recuperaciones del mineral remanente y como complemento del análisis estructuralmente controlado”.

(Tapia Cabanillas, FORMULACION DE UN MODELO GEOLOGICO-ESTRUCTURAL, EN EL SISTEMA DE VETAS DE LA FRANJA OESTE DEL YACIMIENTO MINERO DE PARCOY, CONSORCIO MINERO HORIZONTE, 2008), realizó la investigación de pregrado: “**Formulación de un modelo geologico-estructural, en el sistema de vetas de la franja oeste del yacimiento minero de Parcoy, Consorcio Minero Horizonte**”. Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ingeniería Geológica, Metalúrgica, Minera y Geográfica. La investigación llegó a las siguientes conclusiones: “Entender que el modelo estructural juega un factor determinante en las proyecciones y la exploración de nuevas vetas, en ese sentido se concluye que los “blancos” deben orientarse a posibles estructuras tensionales (t) y tipo riedel (R,R´) producto de la reactivación de estructuras con orientación principal dando como resultado los modelos tipo “lazos cimoides” y “lazos cimoides múltiple” . [...]. Los criterios estructurales y la experiencia adquirida en este yacimiento muestran que las zonas con concentraciones mayores a 12 gr/tm de Au no se emplazan uniformemente a lo largo de la veta sino en zonas favorecidas por los cambios tanto de buzamiento como de rumbo. [...]. Toda veta con buzamiento al “Oeste” es la resultante de un cizallamiento entre dos estructuras con buzamiento al “Este” y en tal sentido se debe explorar al techo y al piso de la misma”.

(Parra Reti, 2015), realizo la investigación de posgrado: “**Planificación minera a cielo abierto utilizando fundamentos geomecánicos**”. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Departamento de Ingeniería de Minas. La investigación llego a las siguientes conclusiones: “Se puede afirmar que el hecho de considerar distintos criterios de aceptabilidad para la determinación de los ángulos de talud en un rajo, tiene como consecuencia un impacto en todo el proceso de planificación minera lo que finalmente trae efectos en el valor final de un proyecto, tanto en términos de reservas mineras como en su valorización económica. [...]. El criterio más apropiado para la determinación de la resistencia de un macizo rocoso de un talud perteneciente a una mina a cielo abierto es el criterio de Hoek-Brown para un macizo rocoso perturbado ( $D=1$ ). [...]. Se pudo concluir que la razón estéril-mineral tiende a aumentar a medida que se considera un FS aceptable mayor, mientras que el beneficio marginal disminuye a medida que se considera un FS aceptable mayor. [...]. Tomar una decisión respecto del criterio de aceptabilidad a considerar en un proyecto, es un análisis costo-beneficio entre obtener un mayor beneficio económico y mayores reservas por un lado, y por otro lado asegurar la integridad de las personas y tener una operación continua a lo largo de la vida de la mina”.

(Rivero Abarca, 2008), realizo la investigación de pregrado: “**Evaluación geomecánica de estrategias de socavación en minería subterránea**”. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Departamento de Ingeniería de Minas. La investigación llego a las siguientes conclusiones: “Diversas publicaciones coinciden en que el corte inclinado, o llamado tipo crinkle cut, es una alternativa eficaz de realizar la socavación avanzada, debido a la mayor robustez del pilar corona y a la correcta inclinación que se le da a dicho pilar para el flujo de marina hacia la calle de hundimiento. [...]. El hundimiento avanzado mediante corte plano es la estrategia que produce mayores esfuerzos inducidos, en particular, en los primeros 10 metros desde la frente de socavación, medidos a lo largo del centro de un pilar entre galerías de hundimiento. En este contexto, los esfuerzos verticales inducidos pueden disminuir un 30% si se emplea hundimiento convencional en vez de hundimiento avanzado con corte plano, debido a que el mayor ancho del pilar en el caso convencional permite distribuir sobre una mayor área los esfuerzos inducidos, produciendo concentraciones de esfuerzos menores; o bien, pueden descender un 20%,

si bajo las mismas condiciones geotécnicas y de disposición geométrica de labores, se emplea un hundimiento avanzado con corte inclinado en lugar de hundimiento avanzado con corte bajo. [...]. Los criterios de comparación escogidos, fueron: la razón entre el esfuerzo vertical inducido y el esfuerzo vertical in situ, medidos sobre el centro del pilar de hundimiento, para tener una idea de los esfuerzos inducidos; y el factor de seguridad sobre  $\delta_1$  según el criterio de falla de Mohr Coulomb, aplicados a los pilares de los niveles de producción y hundimiento. [...]. En cuanto a la condición de los pilares en el nivel de hundimiento, la opción que ofrece mayores factores de seguridad es el corte inclinado. Esta variante, superó en promedio en un 40% a los factores de seguridad obtenidos en el caso corte plano, y en un 90% al caso convencional. [...]. El corte inclinado se presenta como la alternativa más robusta de las estudiadas, pues, en términos simples: Genera bajos niveles de esfuerzos inducidos en la frente de socavación, medidos en el nivel de hundimiento, aunque mayores que los producidos en el caso convencional. Presenta mayores factores de seguridad en los pilares del nivel de hundimiento. Al igual que la variante corte plano (salvo en el caso  $k=2$ ), presenta factores de seguridad aceptables en los pilares del nivel de producción”.

(Cartaya Pire, 2001), realizo la investigación de posgrado: “**Caracterización Geomecánica de macizos rocosos en obras subterráneas de la región oriental de país**”. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa “Dr Antonio Nuñez Jiménez”, Departamento de Geología. La investigación llego a las siguientes conclusiones: “Se establecen las principales características geomecánicas de los macizos rocosos estudiados y se proponen los modelos geomecánicos más representativos para cada caso. [...]. Como resultado de la evaluación de la estabilidad de los macizos rocosos según su calidad y estabilidad se obtiene que predominan los macizos de calidad regular, aunque en diferentes sectores y obras se presentan macizos en mal estado, lo que es condicionado además de los problemas estructurales, por el deterioro que ellos han sufrido por efectos del agua, la erosión y la atmósfera subterránea. [...]. Se obtienen un grupo de criterios geomecánicos – estructurales que pueden ser aplicados para el diseño de excavaciones y obras subterráneas, fundamentando su empleo”.

(Marconi A. & Farfan P., 2008), realizo la investigación de pregrado: “**Caracterización Geomecánica para el proyecto del túnel del sistema**

**subterráneo metro de Caracas. Línea 5, tramo Bello Monte-Chuao (UNEFA)**". Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ingeniería. La investigación llego a las siguientes conclusiones: "La importancia de las clasificaciones geomecánicas se debe a que estas permiten caracterizar y cuantificar las propiedades del macizo rocoso, para posteriormente determinar el posible comportamiento de la excavación y el diseño del túnel. [...]. Los valores arrojados por los ensayos de laboratorio suelen ser un estimado de las propiedades físicas y mecánicas de las rocas que forman un macizo. [...]. La presencia de agua en el área de estudio es un factor importante de determinar y controlar ya que afecta las condiciones y el comportamiento mecánico del macizo rocoso haciéndolas desfavorables al momento de la excavación. [...]. El perfil de sectorización geomecánica se realizó de acuerdo a la teoría de solido de carga de Terzaghi, con la cual se obtienen tres tipos de coberturas: Superficiales, Intermedia y profundas. [...]. El sistema de excavación previsto para el proyecto es con TBM (Tunnelling Boring Machine) del tipo EPB, el mismo presenta las siguientes ventajas: respecto a los otros métodos de excavación: La cabeza giratoria trabaja ejerciendo presión sobre la zona de excavación, de manera tal que los operarios no se ven expuestos a eventuales situaciones de derrumbes o inundaciones, minimizando en forma drástica la posibilidad de accidentes. El retiro del material desde el frente de excavación se puede realizar mediante sistemas automatizados como cintas transportadoras o formaciones de pequeñas vagonetas sobre rieles".

(Pabón Gélvez & Obeid Méndez, 2004), realizo la investigación de pregrado: "**Análisis de la geomecánica aplicada a la estabilidad de pozos de los campos cusiana y cupiagua mediante analogías con yacimientos sensibles a esfuerzos**". Universidad Industrial de Santander, Facultad de Ingeniería Fisicoquímicas. La investigación llego a las siguientes conclusiones: "Para controlar los problemas de inestabilidad durante las operaciones de perforación es necesario que se tenga en cuenta parámetros como el estado de esfuerzos in situ, la presión de poro y las propiedades mecánicas de las formaciones con el fin de poder determinar con éxito las trayectorias y pesos de lodo óptimos que eviten estos problemas. [...]. Para lograr obtener condiciones más estables del hueco durante las operaciones de perforación, es necesario modelar el estado de esfuerzos en las paredes del pozo teniendo en cuenta todos los mecanismos y modos de falla posible.

[...]. Para realizar un buen análisis geomecánico de estabilidad de pozo es necesario obtener valores confiables y lo más cercanos a la realidad de los parámetros involucrados es este. [...]. El tiempo es un factor importante que se debe tener en cuenta en la búsqueda de soluciones a los problemas de inestabilidad, pues a mayor tiempo de espera mayor será la dificultad para solucionarlos, la solución se hará más compleja y más costosa”.

(Llanco Sedano & Sicus Quispe, 2012), realizo la investigación de pregrado: **“Evaluación de la voladura basada en las clasificaciones geomecánicas en la Cia Consorcio Minero Horizonte - U.P Culebrillas”**. Universidad Nacional de Huancavelica, Facultad de Ingeniería de Minas y Civil. La investigación llego a las siguientes conclusiones: “Se ha demostrado con un nivel de significancia del 5% y la prueba t de Student, que la aplicación de la voladura basada en las clasificaciones geomecánicas ha influido significativamente en la reducción de las fallas en las voladuras en la empresa CMH-U/P Culebrillas. [...]. Para que la aplicación de la voladura basada en las clasificaciones geomecánicas sea aceptable debemos realizar evaluaciones geomecánicas constante en las labores mineras. [...]. La aplicación de las clasificaciones geomecánicas en la voladura ha reducido el factor de potencia, consumo específico, número de taladros como también ha mejorado la distribución de la malla de perforación. [...]. Se demuestra que la ecuación de Ashby (C.E) relacionada con las clasificaciones geomecánicas (RMR, RQD, GSI) cumplen los estándares de consumo de explosivo”.

### 2.1.3 Artículos de divulgación

El artículo de (Muñoz Fernandez & Gonzalez de Vallejo, 1987), que tiene como título **“Aplicación de las clasificaciones geomecánicas al estudio de excavaciones subterráneas”**. **Conclusiones.** “Son necesarios los modelos que, seleccionando una serie de factores geológicos, puedan predecir fiabilidad al comportamiento mecánico de un macizo rocoso ante una excavación. [...]. Estos modelos, denominados clasificaciones geomecánicas, han de ser; rápidos en su aplicación; cuantitativos, produciendo un índice numérico que pueda ser usado para el cálculo de parámetros de diseño; y generales, incluyendo parámetros de macizo rocoso. [...]. Dichos modelos pueden ser incorporados en la fase de anteproyecto y diseño de la excavación, estimación de costos previos y elaboración de una planificación”.

El artículo, (Martín Sánchez, Emilio Winograd, Sergio Bosco, Juan Pablo Álvarez, & Marcos Mendoza, 2015). **Conclusiones.** “Este artículo muestra cómo es posible caracterizar las propiedades mecánicas y el fracturamiento, realizando una reconstrucción digital de la roca y simulando ensayos mecánicos sobre ella. [...]. Se calcularon propiedades mecánicas fundamentales, tales como anisotropía y resistencia a la tracción”.

## 2.2 Generalidades

### 2.2.1 Ubicación y Acceso

El yacimiento “El Gigante” se encuentra ubicado en la franja metalogenética nororiental del Batolito de Pataz conocida como “Franja Aurífera del Batolito de Pataz”. Políticamente la Unidad San Andrés de Minería Aurífera Retamas S.A se encuentra ubicado en el anexo de Llacubamba, distrito de Parcoy, provincia de Pataz y departamento de La Libertad; geográficamente emplazada en las vertientes del flanco Oriental de la cuenca hidrográfica del Marañón, en el sector norte de la Cordillera Oriental. La altitud oscila entre 3200 m.s.n.m. a 4260 m.s.n.m.

**Coordenadas UTM WGS 84:** 230 509 E

9 110 502 N

**Coordenadas geográficas:** 08° 02' 23" LATITUD SUR

77° 26' 42" LONGITUD OESTE

El acceso se realiza de la siguiente forma:

Por vía terrestre, un recorrido de 956 kilómetros desde la ciudad de Lima hasta el campamento Chilcas.

**Tabla N° 01:** Acceso por vía terrestre.

INICIO	FIN	VÍA	DISTANCIA	TIEMPO
LIMA	TRUJILLO	Asfaltado	562 km	08:00 horas
TRUJILLO	HUAMACHUCO	Asfaltado	185 km	03:30 horas

HUAMACHUCO	CHAGUAL	Asfaltado y trocha	146 km	04:00 horas
CHAGUAL	RETAMAS	Trocha	58 km	02:30 horas
RETAMAS	MINA MARSAS	Trocha	05 km	00:20 horas

**Fuente:** Elaboración propia.

Por vía Aérea, son vuelos privados a servicio de las empresas mineras; Poderosa, Horizonte y Marsa. El recorrido en vuelo se realiza desde la ciudad de Lima hasta Pías, posteriormente por vía terrestre hasta el campamento Chilcas.

**Tabla N° 02:** Acceso por vía aérea.

INICIO	FIN	VUELO	TIEMPO	OBSERVACIÓN
LIMA	PÍAS	CHARTER	01:30 horas	-
TRUJILLO	PÍAS	CHARTER – COMERCIAL	00:45 horas	-
PÍAS	MINA MARSAS	-	00:30 horas	Por vía terrestre

**Fuente:** Elaboración propia.



Figura N° 01: Plano de ubicación de Minera Aurífera Retamas.

Fuente: Departamento de Geología Marsa.

### 2.2.2 Geomorfología

La zona se emplaza en la cordillera Oriental de los Andes, en el límite con el subandino peruano, mostrando rasgos característicos de erosión glacial y fluvial, con una topografía muy variada y accidentada. En la zona de estudio, la cordillera Oriental alcanza cotas por encima de los 4,500 m.s.n.m. Se trata de un macizo ubicado entre los ríos Marañón y Huallaga y, consiste de cadenas paralelas separadas por estrechos valles longitudinales. La superficie ha tenido como agente modelador, los eventos tectónicos y la erosión fluvial, es de esta manera que se han formado profundos valles que alternan con elevaciones de fuertes pendientes; las cuales varían en distancias cortas entre 1800 a 4200 m.s.n.m.

Durante el Mioceno ocurrió una etapa de erosión y aplanamiento generalizado del relieve, que afectó al territorio cordillerano dando lugar a una superficie llana a ondulada conocida como superficie de puna. Esta superficie en la cordillera Oriental es difícil de reconocer, debido a la fuerte erosión que ha sufrido. Sin embargo, las cumbres relativamente anchas y el hecho de que mayormente quedan entre los 4,200 y 4,400 m.s.n.m. indican que se trata de remanentes de esta superficie. Los mejores ejemplos están en el área de la divisoria, especialmente en el sector septentrional del cuadrángulo de Tayabamba.

Las geoformas locales que caracterizan a la cordillera Oriental son los valles en V, valles en U, lagunas de origen glacial, picos, valles colgados y circos glaciares, además de depósitos de morrenas y fluvioglaciares. En la parte baja de la microcuenca presenta en su extensión zonas montañosas con pendientes pronunciadas, generalmente formando valles encañonados, depósitos coluviales y aluviales.

Los más característicos valles, son aquellos formados por los ríos Marañón, Parcoy y Tayabamba, registrándose las siguientes prominencias: Suyubamba (4,250 m.s.n.m.), Calvario (4,280 m.s.n.m.), Santa Rosa (3,800 m.s.n.m.), Santa Mónica (4,200 m.s.n.m.), Ventanas (3,950 m.s.n.m.), El Gigante (4,200 m.s.n.m.), Huasca cocha (4,400 m.s.n.m.) y Tomac (3,850 m.s.n.m.).

### **2.2.3 Clima y Vegetación**

El clima de la región es variado, debido a lo accidentado de la topografía y a la cantidad de precipitación, la cual varía según la posición geográfica y la altura de la zona. Se tiene un clima frío por encima de los 3000 m.s.n.m. y un clima templado por debajo de los 3000 m.s.n.m. La precipitación promedio es de 918.3 mm/año. La temperatura máxima registrada es de 31.2 °C y la temperatura mínima es de -2.4°C.

El flanco oriental de la cordillera recibe abundantes lluvias, a partir de los vientos húmedos provenientes de la cuenca amazónica. Se tiene una vegetación abundante, del tipo “montaña”, con la apariencia de ceja de selva, esto se debe a que llueve por un periodo de 8 meses, presentando 2 estaciones bien marcadas, una estación de invierno que va desde setiembre hasta fines de abril aproximadamente, y otra de verano, desde mayo hasta fines de agosto, de tal forma que su vegetación se mantiene verde durante todo el año. En zonas de temperaturas bajas, generalmente se presentan arbustos y hierbas. Se debe de señalar, que el valle del Marañón recibe poca precipitación, por lo que registra una vegetación semidesértica, con excepción de los alrededores del río.

Los pobladores de la zona, se dedican principalmente a la actividad minera, agrícola y ganadera. En la parte baja se cultivan árboles frutales como: naranjas, limones, mangos, pacay y otros de clima templado a cálido. En las partes altas, se siembran trigo, maíz, lentejas y papas, como es típico de los andes peruanos.

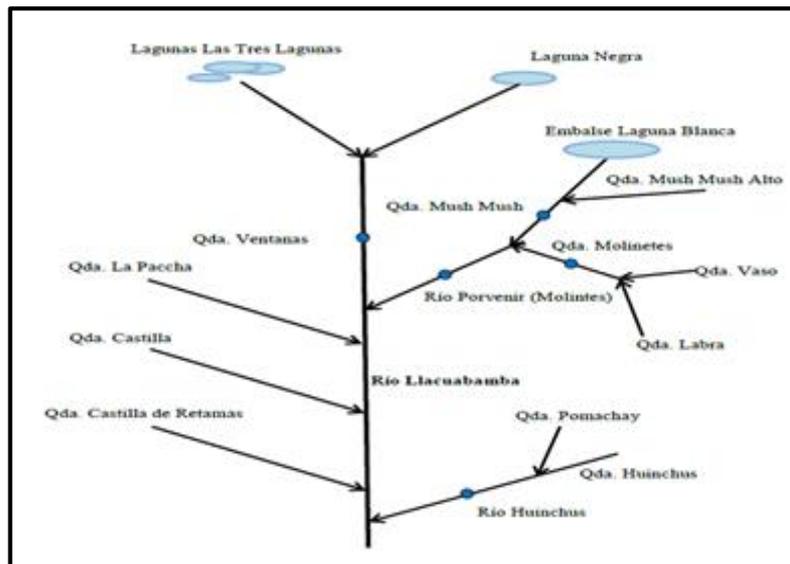
### **2.2.4 Hidrografía**

Comprende la red de la microcuenca del río Llacuabamba, la cual es tributaria principal del río Parcoy que desemboca en la laguna Pías. La laguna Pías entrega sus aguas al río San Miguel, afluente del río Marañón dentro de la unidad Hidrográfica intercuenca alto Marañón V perteneciente a la vertiente del Atlántico.

El río Llacuabamba tiene un recorrido total de 17 km y su microcuenca asociada cuenta con un área de 98.83 km<sup>2</sup>. La cabecera de esta área de drenaje superficial, está a una altura de 4,500 msnm y su punto más bajo corresponde a la confluencia con el río Huinchos y la quebrada Castilla de Retamas a los 2,850 msnm, sector en el que se forma el río Parcoy.

La microcuenca del río Llacuabamba en general presenta un drenaje subdendrítico. En la parte alta de la microcuenca se tienen dos afluentes principales como son la quebrada Mush Mush y la quebrada Molinetes dando origen al río Porvenir, ambos se originan por el aporte de flujo subterráneo a través de los manantiales ubicados a cotas mayores a los 4,100 msnm, en el caso de la quebrada Mush Mush presenta un embalse denominado Laguna Blanca, la batimetría realizada al embalse dio como resultados, un área máxima embalsable de 66,168 m<sup>2</sup> y un volumen de almacenamiento máximo de 323,795 m<sup>3</sup>. El embalse, permite regular el consumo de agua durante todo el año para los diversos procesos de la mina.

Por la margen derecha, aguas abajo después del aporte del río Porvenir, se presenta un afluente principal de la quebrada Llacuabamba, la quebrada Ventanas, cuya naciente proviene de la laguna Negra y de las lagunas denominadas Tres Lagunas; del mismo margen pero con menor aporte a lo largo de su recorrido se tienen los aportes de las quebradas La Paccha, Castilla y Castilla de Retamas, mientras que por el margen izquierdo existe el aporte de la quebrada Huinchos.



**Figura N° 02:** Diagrama Fluvial de la Microcuenca del río Llacuabamba.

**Fuente:** Departamento de Geología Marsa.

### 2.2.5 Historia de la Mina

Minera Aurífera Retamas S.A. es una empresa de minería subterránea de capital íntegramente peruano. El yacimiento conocido como "Cerro El Gigante", que viene explorando y explotando sostenidamente hace 30 años

se encuentra ubicado en el "Batolito de Patáz", que forma parte del complejo geológico del Marañón, rico en concentraciones de oro y plata.

La explotación del Oro en el Batolito Patáz – Buldibuyo data desde mediados del siglo XIX donde por entonces el corregidor Santisteban organizó y planificó la explotación a lo largo del batolito haciendo uso por primera vez de técnicas de amalgamación en la zona para la recuperación del oro. Asimismo, se tiene referencias históricas que durante el Incanato se explotaba este metal precioso, se relata que el oro usado para el rescate del Inca Atahualpa provino de estas minas. En los albores del siglo XX el Ingeniero Polaco M.C. Tarnawiecki (1913–1920) se establece en la zona de Parcoy a fin de realizar diversos trabajos topográficos y geológicos, que le permitieron reconocer la mineralización del área comprendida entre Patáz y el cerro El Gigante.

Desde 1934 hasta 1960, Eulogio Fernandini, fundador del Sindicato Minero Parcoy desarrolló en el área (comprendida por lo que hoy es Marsa y Consorcio Minero Horizonte), la mina subterránea más grande del país, la cual se convirtió en pionera del proceso de cianuración en el Perú con una planta que procesaba 200 TM/día, tratando un promedio de 60,000 TM/año y recuperando alrededor de 600 kilos de oro fino por año y 120 kilos de plata fina por año. El cierre de esta empresa se produjo en junio del 1960, y se debió a la estabilidad del precio del oro en 35 dólares, de manera que su explotación se limitó a zonas económicas, tales como las zonas de óxidos y zonas de alta concentración de sulfuros y en algunas vetas llegaron a profundizar por medio de piques para trabajar los sulfuros secundarios, no hay información en la que se reporte que hayan habido cortadas de importancia, se trataba de determinar la profundización de las vetas, como nos da entender el trabajo realizado por el Ing. Everett Graff en el año 1946 cuya recomendación fundamental fue desarrollar las vetas conocidas. El Sindicato dejó de operar en el año 1960, al agotarse los recursos minerales que podían explotarse económicamente con la tecnología de la época. (Tapia Cabanillas, Formulación de un modelo geológico-estructural, en el sistema de vetas de la franja oeste del yacimiento minero de Parcoy, Consorcio Minero Horizonte, 2008)

En 1978, Rafael Navarro Grau y Jaime Uranga deciden procesar los relaves del área y fundan el Consorcio Minero Horizonte. Para la realización de sus proyectos adquieren los derechos mineros que correspondían al Sindicato.

Minera Aurífera Retamas S.A. se creó el 15 de abril de 1981, siendo los propietarios el Dr. Andrés Marsano, el Sr. Ignacio Larco Pedraza y el Sr. José Heighes. En sus inicios, la empresa fue inaugurada con una planta de tratamiento de 50 TMS/día; con pocos recursos y como consecuencia de un arduo trabajo minero sostenido, de la inquebrantable fe minera de su fundador y de su equipo de colaboradores, se logró el crecimiento y desarrollo de MARSA; contando la empresa hoy en día con una planta de 1800 TMS/día de capacidad instalada, aproximadamente 650,000 TM/año y recuperando alrededor de 6,500 kilos de oro fino por año. MARSA es hoy en día una empresa moderna, eficiente, respetuosa de su entorno, que da trabajo a más de 3,800 personas y que tiene un alto compromiso de responsabilidad social y ambiental.

Minera Aurífera Retamas S.A. es una sociedad anónima, inscrito en el asiento 01, de fojas 136, del tomo 29 de sociedades contractuales; del Registro de Minería, con partida CLXXI, asiento 01, folio 465 del tomo 27 del Registro de Sociedades Mercantiles de Trujillo.

## **2.3 Geología**

### **2.3.1 Geología Regional**

La zona Aurífera de Parcoy – Gigante Buldibuyo está ligada a una franja de rocas intrusivas conocidos como “Batolito de Pataz” que cortan a las filitas, pizarras y rocas metavolcánicas del Complejo Marañón.

Se extiende aproximadamente 50 km, por el Norte llega hasta Vijus y por el Sur hasta Buldibuyo, en un ancho promedio de 2.5 km. Limitado al E-NE por el Complejo Marañón y Volcánicos Lavasen y por el W-SW con rocas sedimentarias mesozoicas de la Formación Crisnejas.

El magmatismo y el tectonismo ocurrido en el periodo del Carbonífero, produjo una gran sutura tectónica en la secuencia metavolcánicos y sedimentos del Proterozoico Carbonífero del valle del Marañón que sirvió de emplazamiento al Batolito de Pataz.

Este intrusivo se encuentra muy fracturado, por lo que sirvieron de canales de transporte a las soluciones mineralizantes que dieron lugar a la formación de vetas o estructuras filoneanas con orientación NW – SE.

El Batolito de Pataz es el cuerpo intrusivo dominante en la región de forma alargada con orientación N30°W. Existen intrusiones de menor talla y tardías que son reportadas a inicios del Mesozoico y Cenozoico.

La secuencia estratigráfica en la zona de estudio está constituida por rocas desde el Precámbrico hasta el Cuaternario reciente. En la región de Pataz - Parcoy, la cordillera Oriental comprende un basamento metamórfico denominado 'Complejo del Marañón' (Wilson y Reyes, 1964; Dalmayrac, 1988; Schreiber, 1989; Haeblerlin, 2002).

### **2.3.1.1 Precámbrico**

#### **a. El Complejo del Marañón (Pe-cm)**

Localmente se trata de una secuencia metamórfica cuya base es desconocida, consistente de filitas polideformadas y seritoesquistos con un grado de metamorfismo medio a alto. Estas rocas se encuentran fuertemente fracturadas. Afloran en superficie, posiblemente estando en contacto fallado con el batolito de Pataz e infrayaciendo localmente a la formación Lavasen. Los materiales pertenecientes al Complejo Marañón son poco permeables por lo que se les asigna una permeabilidad baja a nula. Adicionalmente, en la zona de estudio se presenta una secuencia de metasedimentos en bancos masivos, cuya extensión y potencia son desconocidas, por lo que no han sido diferenciadas en el cartografiado local y, que se encuentran sobreyaciendo a las filitas y esquistos del Complejo del Marañón. Se trata de cuarcitas granoblásticas de color gris claro que posiblemente puedan corresponder a la Formación Contaya. Son bastante competentes y compactas, con un grado de fracturamiento muy leve. En este sentido, el Complejo Marañón presenta una permeabilidad muy baja a nula comportándose como basamento impermeable.

Este complejo metamórfico que infrayace a secuencias Mesozoicas, se han dividido en tres horizontes emplazado en:

- cuerpos ultrabásicos y básicos, el superior constituido por filitas de color verde oliva de textura fina, brillante con esquistosidad, afloran en Llacuabamba al NE, con una potencia de 250 m.

- El horizonte medio constituidas por andesitas solidificadas, conocida también como metavolcánicos, afloran en el flanco Este del rio parcoy con potencia de 250 m.
- La base del complejo, constituida por esquistos de color gris verdosas con una laminación fina y asociadas a vetillas de cuarzo, afloran en Soledad y el cementerio de Llacuabamba.

De acuerdo con las observaciones macroscópicas y microscópicas de las muestras recogidas en el campo, los esquistos más comunes son:

- Cuarzo - mica.
- Cuarzo - mica - clorita.
- Cuarzo - mica - piroxeno.
- Micas - talco.
- Cuarzo - micas - grafito.
- Sericita - cuarzo.
- Cuarzo - epidotas.
- Cuarzo - plagioclasa - micas.

### **2.3.1.2 Paleozoico inferior**

#### **a. Formación Contaya (O-c)**

De edad Ordovícico, yace sobre el Complejo del Marañón en disconformidad angular (Wilson y Reyes 1964) entre los 200 y 600 m. de espesor y de naturaleza sílice – clástico, se pudo determinar una sucesión de cuarcitas masivas, areniscas oscuras, lutitas y en menor proporción calizas, la presencia de graptolites en la secuencia media y superior del Contaya indicaría una sedimentación profunda en la zona de estudio, las formaciones del paleozoico inferior están caracterizadas por un bajo grado de metamorfismo regional, aflora en la margen derecha de la quebrada Castillas. No se ha determinado en la región períodos de tiempo geológico para el Silúrico y el Devónico.

### **2.3.1.3 Paleozoico superior**

#### **a. Grupo Ambo (Ci-a)**

De edad Mississipiano (Carbonífero inferior), esta formación se produjo durante un periodo de distensión de la fase final de la tectónica Eohercínica generando fallamientos normales con subsidencias las que fueron rellenadas con material clástico en ambientes fluviales y deltaicos.

Litológicamente está constituido por areniscas, lutitas y conglomerados pertenecientes al Carbonífero inferior, aflora en la parte sur de la Mina de Parcoy (zona Mishito) con apariencia de “roof pendant” o “techo colgante” sobre yaciendo al intrusivo granodiorítico. Este evento tectónico de distensión genera grandes fallamientos de carácter regional los cuales serán los conductos de emplazamiento de Batolito de Patáz. La distensión y la subsidencia al final del periodo generaron un volcanismo efusivo que se prolonga hasta el Pensylvaniano.

#### **b. Volcánicos (CsP-v)**

Presenta amplia distribución en las partes altas del área de estudio, al Este del Batolito se ven los afloramientos de los piroclastos y derrames volcánicos de composición riolítico a andesítico, de edad Carbonífero-Pérmico.

#### **c. Grupo Mitu (Ps-m)**

En el Pérmico superior se produce una intensa erosión de las áreas levantadas durante la Fase Tardihercínica, produciéndose el relleno de zonas negativas con secuencias de molasas rojas los cuales fueron transportados por agentes fluviales. Este grupo se presenta como remanentes volcánicos compuestos principalmente por tufos y aglomerados riolíticos de edad Pérmico superior. Aflora en la zona de Pilacones, Pampa Espino (Potacas), el color predominante es el rojo ladrillo. Este fracturamiento y vulcanismo caracteriza un régimen de distensión en todo el planeta a fines del Paleozoico y comienzos del Mesozoico.

Esta secuencia detrítica roja, está constituida por conglomerados, areniscas lutitas limolitas, cuarcitas rojas intercaladas con niveles finos de lodositas de coloración rojiza, de intercalación centimétrica (10-30 cms de espesor). Los conglomerados están formados por rodados más o menos redondeados de esquistos, mica-esquistos, cuarcitas, granitos y algunas veces pequeños fragmentos carbonatados, el cementante está constituida por areniscas finas cuarcificadas.

#### **2.3.1.4 Triásico – Jurásico**

##### **a. Grupo Pucará (TrJi-p)**

Producto de una sedimentación marina, está conformada por secuencias de calizas grises y carbonosas, con presencia de nódulos de chert, calizas intercaladas con lutitas, dolomitas, margas y areniscas calcáreas. Está conformado por 3 formaciones:

- **Formación Chambará (Tr-ch):** Es la secuencia inferior del Grupo Pucará, está conformada de calizas de color gris a gris oscura intercalada con calizas bituminosas, y calizas dolomíticas.
- **Formación Aramachay y Condorsinga (Ji-ar-c):** Estas secuencias se caracterizan por la presencia de niveles de Chert en la parte superior de las formaciones. En la zona de Patáz estas formaciones han sido motivo de intensas exploraciones en la búsqueda de Pórfidos o cuerpos de reemplazamientos obteniendo resultados satisfactorios en una primera etapa, sobre todo en la zona de Chilia, está claro que es un blanco anómalo aún por explorar.

#### **2.3.1.5 Cretáceo**

##### **a. Grupo Goyllarisquizga (Ki-g)**

El Cretáceo en el Perú está bien desarrollado, muestra secuencias completas en el norte y centro del territorio, sin embargo en la zona de estudio los afloramientos no están bien reconocidos en todas sus formaciones, sus ejes de plegamiento se enrumban en un sistema común al sistema Andino. Se constituye de 4 formaciones

diferenciadas en su litología y secuencia deposicional, Chimú, Santa, Carhuaz y Farrat.

Está compuesto por secuencias silicoclásticas de areniscas blancas de grano medio a grueso, algo conglomerádicas con intercalaciones delgadas de limoarcillitas, se caracteriza por la presencia de estratificación sesgada.

La extensión de este afloramiento dentro de la región de estudio es pequeña. En esta parte de la región de estudio este Grupo tienen un grosor menor que hacia el W, no se diferencian sus cuatro Formaciones (Chimú, Santa, Carhuaz y Farrat).

#### **b. Formación Crisnejas (Ki – cr)**

Litológicamente consiste de una secuencia de calizas, areniscas calcáreas y margas. El contacto inferior y superior están en discordancia erosional a las areniscas del Grupo Goyllarisquizga y sedimentos clásticos de la Formación Chota respectivamente. Se le asigna una edad de Albiano medio, aflora ampliamente en la zona Pampa Espino, en el cerro Piletas, al NE y SW de la zona de estudio.

#### **c. Formación Chota (KsP – ch)**

Está formado por una serie de cobertura de ambiente continental que aflora en el sector Este de la zona de estudio, como capas rojas compuestas por conglomerados, areniscas, lutitas y limolitas de color rojo intenso, yace en discordancia erosional a la Formación Crisnejas. Se le asigna una edad de Albiano medio, aflora ampliamente en la zona Pampa Espino, en el cerro Piletas, al NE y SW de la zona de estudio.

Se registra afloramientos en Alpamarca camino a Pias y Patate. Potencia de estratificación aproximado de 200 metros calizas y margas. Las calizas son macizas con costras alteradas en capas métricas (1m) de grosor, a veces calizas de color marrón en lajas delgadas emanando un olor fétido que intercala calizas de estratos delgados con limoarcillitas calcáreas gris oscuras con fósiles de amonites.

#### **2.3.1.6 Depósitos Cuaternarios (Qr – al)**

Los depósitos acumulados en el Cuaternario son principalmente eluviales-coluviales y aluviales. Los depósitos eluviales y coluviales que están presentes en la zona, son productos de la descomposición de las rocas in-situ (principalmente las rocas de la Formación Chota). Los depósitos aluviales están localizados en las quebradas y faldas de los cerros.

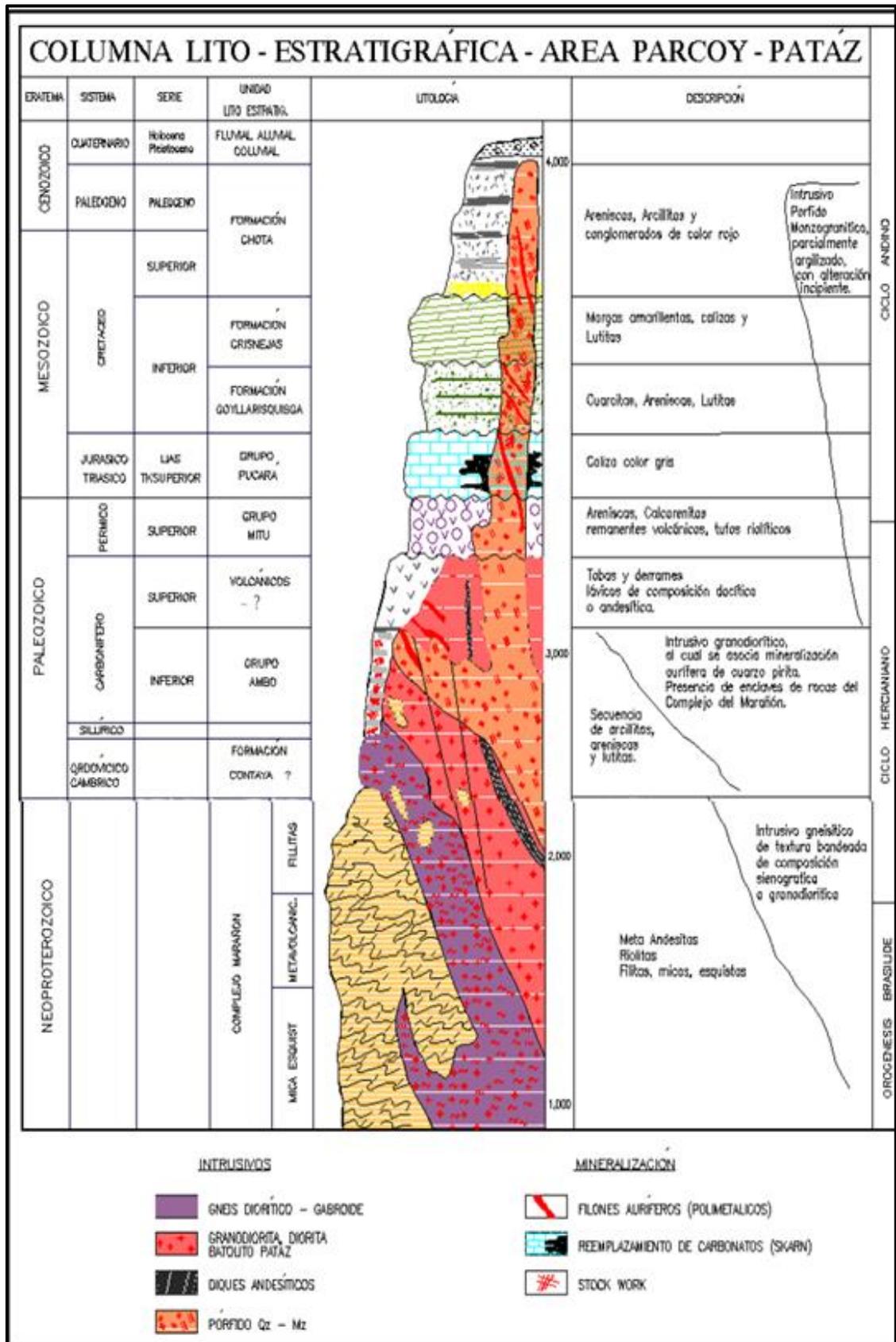


Figura N° 03: Columna Estratigráfica.

Fuente: Departamento de Geología Marsa.

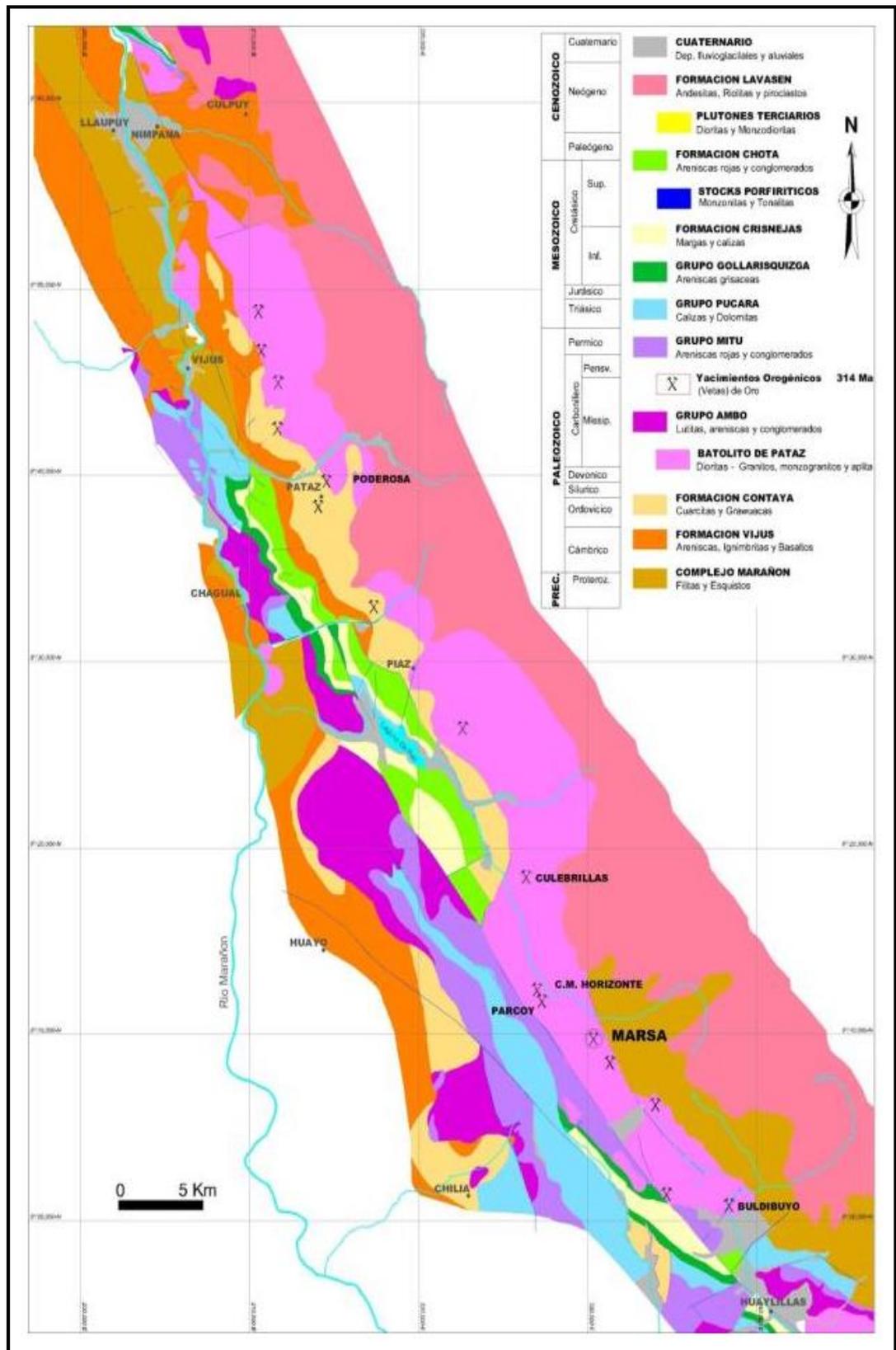


Figura N° 04: Plano Geológico Regional.  
Fuente: Departamento de Geología Marsa.

### **2.3.2 Geología Local**

El proyecto se encuentra emplazado en pórfido tonalíticas correspondiente al Batolito de Pataz. Así mismo se presentan sistemas de discontinuidades medianos y menores en la zona de estudio. La zona se halla mayormente cubierta por depósitos Cuaternarios; las rocas y estructuras mineralizadas se encuentran poco expuestas, a excepción de la veta “El Gigante” y “Esperanza” que afloran en el cerro el Gigante.

En la mina el Gigante, debajo de la cubierta Cuaternaria, se extiende el intrusivo de Pataz, de naturaleza félsica a máfica, en este intrusivo se hospedan las vetas auríferas. Al NE, cerca del Campamento San Andrés, afloran rocas metamórficas del Complejo del Marañón, y al SW del Tambo, ocurren areniscas, conglomerado arenoso, limolitas, y volcánicos.

Comprende unidades litológicas que van desde el precámbrico al cuaternario, desde la más antigua a la más joven, El Complejo Marañón del cámbrico al ordovícico, constituida por pizarras oscuras y filitas grisáceas, intercaladas con pequeñas capas de esquistos cloritizados y metavolcánicos; se hallan expuestas en el lado NE del Batolito de Pataz, encontrándose plegadas, falladas y/o perturbadas por varios eventos de metamorfismo dinámico e ígneo.

#### **2.3.2.1 Rocas intrusivas**

El intrusivo está constituido probablemente por más de una facie plutónica; 1ra facie, microdiorita – diorita; 2da facie, granodiorita-granito. La primera facie son las rocas más favorables para la deposición de las soluciones mineralizantes; en ellas se emplazan el mayor número y las principales estructuras mineralizadas, las que actualmente se hallan en exploración y explotación; la segunda facie, son poco favorables para la formación de estructuras mineralizadas, encontrándose vetas delgadas, ramaleadas (stockwork) y discontinuas.

El batolito de Pataz del carbonífero, tiene aprox. 160 Km de largo (N30°W), un ancho de 2.5 a 5 Km. El contacto NE con el Complejo del Marañón se caracteriza por una franja de enclaves de ancho variable, constituidos por fragmentos alargado de filitas-pizarras, metavolcánicos y microdiorita; mientras que el contacto SW está

marcado por la falla Huinchus. Los contactos internos entre las diferentes facies de rocas intrusivas son gradacionales; algunas facies del intrusivo poseen diques aplíticos que se presentan como xenolitos alargados. Al Batolito de Pataz se le asigna una Edad Paleozoica (Carbonífero).

La composición del Batolito de Pataz es calcoalcalina, constituido principalmente por Granodiorita de grano grueso, Cuarzo Monzonita, Granito, Tonalita, Diorita; las rocas presentan texturas granulares (de grano medio). El porcentaje areal a nivel de todo el batolito es granodiorita y cuarzo monzonita 55%, tonalita 22%, diorita 13%, granito 9%.

Existen pequeños intrusivos a manera de stocks y diques de pórfido tonalita - diorita que intruyen al Complejo del Maraón y al Batolito de Pataz.

#### **2.3.2.2 Rocas metamórficas**

Representada por el complejo del Maraón (Precámbrico), constituida por pizarras oscuras y filitas grisáceas, intercaladas con pequeñas capas de esquistos cloritizados y meta-volcánicos; se hallan expuestas en el lado NE del 'Batolito de Pataz', en las quebradas Ventanas, Mushmush, Molinetes, los loros y San Vicente; encontrándose plegadas, falladas y/o perturbadas por varios eventos de metamorfismo dinámico e ígneo; asociados a este fallamiento aparecen ciertas estructuras auríferas de características similares y/o diferentes a las estructuras emplazadas en el intrusivo. A las rocas del Complejo del Maraón se le asigna una edad pre cambriana.

#### **2.3.2.3 Rocas sedimentarias**

Las rocas sedimentarias afloran al SW del Batolito de Pataz, corresponden al grupo Mitu (Pérmico) y está constituida por la unidad volcánica sedimentaria (areniscas, limonitas, conglomerados, tobas riolíticas y brechas - aglomerados de rolitas y dacitas), y calizas del Crisnejas (Triásico-Jurásico).



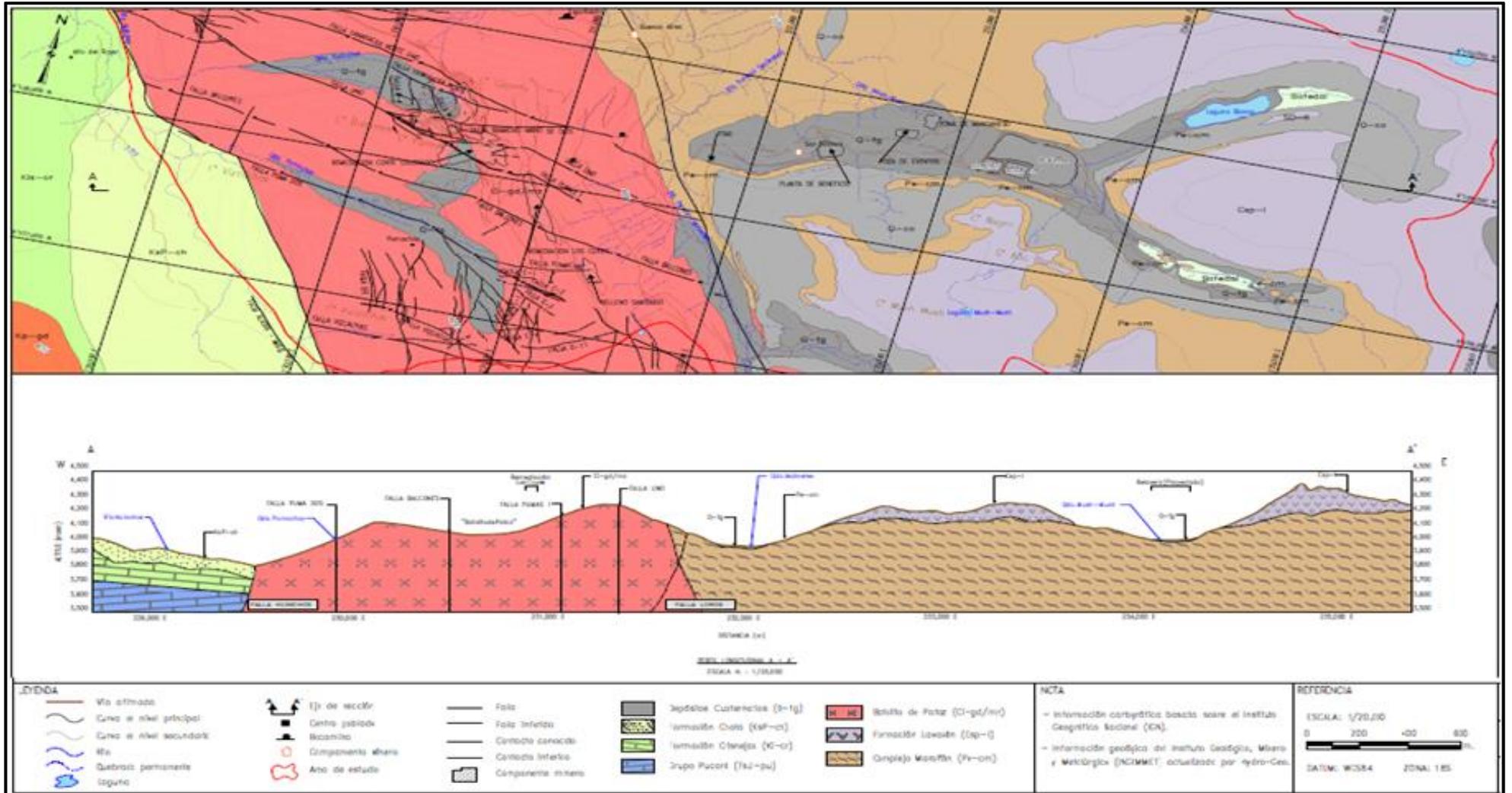


Figura N° 07: Perfil Geológico.

Fuente: Departamento de Geología Marsa.

### 2.3.3 Geología Estructural

El Batolito de Pataz ha sido afectado por los diversos eventos tectónicos desde los últimos 300 Ma, Estos eventos tectónicos representan el resultado de varios procesos orogénicos y magmáticos ocurridos durante el Paleozoico, Mesozoico y Cenozoico. Las diferentes estructuras que se presentan en el área de estudio indican que hubo varias etapas de tectonismo y levantamientos que se manifestaron mediante fallas pre-mineralización y post-mineralización.

En las estructuras del Batolito de Pataz, Rivera (1992), ha reconocido 3 etapas del fallamiento relacionadas con la mineralización:

- **Fallamiento pre-mineral del tipo inverso**, denota una tectónica compresional, que permitió la formación de estructuras a través de las cuales circularon las soluciones mineralizantes en las zonas de bajo buzamiento, han sido mejor rellenadas, cuando estas aberturas aumentan su buzamiento el relleno mineral disminuye. El sistema de estructuras pre-mineral es complejo, siendo posible que muchas de las estructuras mineralizadas se hayan formado por esfuerzos tectónicos y otros se hayan formado en condiciones de contracción por enfriamiento, este sistema controla la distribución de las vetas.
- **Fallamiento intramineral**, que ha creado una permeabilidad secundaria en las vetas, los sulfuros de metales base y oro se han depositado dentro de las microfracturas del conjunto de minerales por existentes. El sistema estructural post-mineral es muy marcado teniendo fallas con rumbos promedios a E-W con alto ángulo de buzamiento, estas son muy fuertes y de variados desplazamientos alcanzando decenas a centenas de metros.
- **Fallamiento post-mineral**, por reactivación tectónica, por lo cual fallas normales se han reactivado como inversas siguiendo el plano de veta. Presentan geometría ondulante y han producido a lo largo de las estructuras tramos con duplicación de vetas con presencia de panizo. Se observan fallas longitudinales sub paralelas en rumbo y buzamiento a las vetas mineralizadas, al parecer son fallas de reactivación que han servido para enriquecer las vetas.

### 2.3.3.1 Fallamiento

La zona se halla muy perturbada por efectos de fallamientos y plegamientos. Se han diferenciado tres sistemas principales de fallamiento:

- **Sistema de Fallamiento NW-SE (Longitudinales).** Son fallas post-mineralización, de rumbo subparalelo y/o paralelo a las vetas, que originan ensanchamientos (cabalgamiento), cuñamientos y discontinuidad local de las estructuras mineralizadas; muchos de éstos son de carácter normal - sinextral e inversa - dextral, con desplazamientos que van desde centímetros a varios metros. En las labores desarrolladas sobre las vetas: Gigante Uno, Esperanza, Yanaracra Sur, Cachaco, Mano de Dios, Yanaracra Uno, etc., se observan este tipo de fallas.
- **Sistema de Fallamiento NW-SW a N-S (Diagonales).** De rumbo promedio norte a noreste y alto buzamiento al oeste. Son fallas que se presentan muchas veces agrupadas en bloque (fallamiento gravitacionales), otras veces como estructuras aisladas relativamente. Las vetas en general se hallan afectadas por este tipo de fallamiento ya sea normal, inverso, sinextral o dextral. Es el caso de las fallas: Oeste Uno, Cabana Cuatro, Cinco, La Española, Sistema Chilcas, etc., con desplazamiento normal - sinextral. Cuando las fallas son de bajo ángulo se presentan como sobre-escurrimientos locales.
- **Sistema de Fallamiento Principal E-W o Fallas Mayores (Transversales).** De rumbo promedio E-W y alto buzamiento al norte o sur. Dentro de este sistema tenemos: Falla Uno, E-1, Falla Veta Pumas Uno, Yanaracra Norte Uno, A- B, Cinco, Cabana, San Vicente, etc. Las cuales desplazan hasta 100 m. en la vertical y 300 m. en la componente horizontal (sinextral) siendo el bloque norte el que cae o hunde. La Falla Uno es una estructura conocida por su extensión y persistencia. Por las observaciones de campo se deduce que es de movimiento inicial inverso – sinextral. Muchas de estas fallas son pre-mineralización del sistema de vetas NW-SE, con reactivaciones post-mineralización.
- Muchas de estas fallas son pre-minerales al sistema de vetas NW-SE, con reactivaciones post-minerales.

### **2.3.3.2 Plegamiento**

Las rocas en las que se ha observado plegamiento son las del Complejo Marañón. Puesto que son filitas que gradan a esquistos y corneanas, los plegamientos son intensos y complejos. En general, indican que estas rocas han experimentado esfuerzos de compresión en la dirección NE- SW, pero no sólo en una etapa sino en repetidas actividades orogénicas.

De extensión regional, con ejes orientados de SE a NW; se presentan en las formaciones sedimentarias y metamórficas. La dirección probable de los esfuerzos de compresión que originaron estos plegamientos ha sido de NE a SW y viceversa. Las estructuras mineralizadas reconocidas como Natasha, gigante Uno, Esperanza, Cachaco, Yanaracra Sur, etc., se presentan plegadas localmente, dificultando su exploración y explotación

### **2.3.3.3 Fracturamiento**

Las rocas intrusivas del Batolito de Pataz y el Complejo del Marañón se hallan fuertemente fracturadas, debido a los múltiples eventos tectónicos. Estos fracturamientos siguieron un patrón estructural derivado de la dirección de los esfuerzos tectónicos. Se presentan formando sistemas de fracturamiento local, en forma paralela al sistema de fallas longitudinales, diagonales o paralelos a los esfuerzos de compresión que a la vez originaron microfallas. Las vetas comúnmente se presentan fracturadas y/o craqueladas.

### **2.3.4 Geología Económica**

La mineralización se emplazó en roca: microdiorita- diorita, granodiorita-granito, cuyos rasgos litológicos y tectónicos se derivan de los procesos de la metalogenia de la Cordillera Central. Las soluciones mineralizantes circularon a través de fracturas preexistentes dentro del Batolito de Pataz, depositándose en las aberturas a manera de vetas. La reacción con las rocas encajonantes provocaron alteraciones hidrotermales causadas por los cambios físicos y químicos que imperaron en el ambiente deposicional.

#### **2.3.4.1 Geometría del yacimiento**

El depósito es filoniano-cizaloso; formado por el relleno de fracturas, por acción de las soluciones mineralizantes hidrotermales, epigenético, de carácter primario, orogénico con temperaturas de formación de facies mesotermal a epitermal.

Las estructuras mineralizadas presentan lazos cimoides múltiples, compuestos y curvas cimoidales. Estructuralmente la mineralización económica se presenta en forma de ore shoots elongados, de magnitudes métricas a hectométricas. La génesis del yacimiento se puede relacionar al tipo orogénico, magmatogénico de las soluciones hidrotermales mineralizantes, que han originado las asociaciones mineralógicas de tipo mesozonal - epitermal.

#### **2.3.4.2 Control de mineralización**

En base a la cartografía geológica superficial y subterráneo, y sus respectivas interpretaciones se determinaron los siguientes controles.

- **Control Estructuras.** Las estructuras en general, como las fallas y fracturas, son un control importante que a lo largo de ellas circularon y/o se depositaron las soluciones de minerales, en muchos casos actúan como entrapamiento de las soluciones de mineralizantes, formando los clavos mineralizados.
- **Control Litológico.** Las rocas microdioritas - dioritas, granodioritas, granito, tonalitas y algunas veces con texturas porfíricas son favorables para el emplazamiento de estructuras mineralizadas.
- **Control Mineralógico.** El cuarzo lechoso es el mineral principal como guía para las exploraciones; ligadas al cuarzo se presentan pirita y arsenopirita. Muchas veces, la presencia de galena y esfalerita - marmatita es un indicativo para un incremento de oro, siempre que se presenten asociadas a la pirita.

#### **2.3.4.3 Alteración de cajas**

Las alteraciones hidrotermales más importantes asociadas a la ocurrencia del oro son: silicificación, sericitización y cloritización, estas últimas asociadas al oro libre. El grado y ancho de alteración algunas veces con la presencia de venillas de cuarzo lechoso es muy variado y/o algunas veces guarda cierta relación con la potencia de las estructuras mineralizadas.

#### 2.3.4.4 Mineralogía

El yacimiento minero “El Gigante”, está constituido por una variedad de minerales agrupado en “ganga”, que se presentan dentro las estructuras mineralizadas en forma de lentes, parches, venas e hilos.

- **Mineral de mena.** El principal mineral de mena es la pirita aurífera, que se presenta acompañada de arsenopirita, galena, marmatita - esfalerita, en proporciones menores; también consideramos el cuarzo sacaroide como mineral de mena por hospedar oro libre.
- **Minerales de ganga.** Acompañando al mineral de mena se presentan otros minerales en proporciones variable, ya sean metálicos o no metálicos, constituyendo estos los minerales de ganga e impurezas, porque no son económicamente beneficiosos. Estos minerales son: cuarzo lechoso (primer estadio), calcita, calcopirita, etc.

#### 2.3.4.5 Sistema de vetas

Existen 2 sistemas de vetas emplazadas en el Intrusivo de Pataz, agrupadas:

- **Sistema NW-SE.** Veta Esperanza, Yanaracra Sur, Gigante, Cabana, Garfio, Daniela etc.)
- **Sistema N-S.** Veta Yanaracra 1, Yanaracra 2, Cachaco, Las Torres, Valeria, etc. este último sistema posee estructuras tensionales del primero.

Las vetas del Sistema NW-SE tienen rumbo 20°-50°NW, con buzamiento de 10° a 40° en dirección NE; pero por ejemplo la veta Garfio buza entre 55° y 70° NE. Con esto se evidencia que las

variaciones del rumbo y buzamiento son consecuencia de los esfuerzos tensionales y compresivos que causaron plegamientos y fallamientos.

### **2.3.5 Metalogenia**

Esta franja corre unos 160 km a lo largo de la Cordillera oriental y un ancho de 2.5 a 5 Km y contiene más de 16 yacimientos (minas) del tipo orogénicos (o mesotermales). La dimensión de los recursos minerales de esta franja metalogénica, alcanza una cifra cercana a los 40 MOz con leyes en el rango de 8 a 85 gr/t Au, alcanzando ocasionalmente leyes >100 gr/t Au; a la fecha alcanza una producción de 5 MOz.

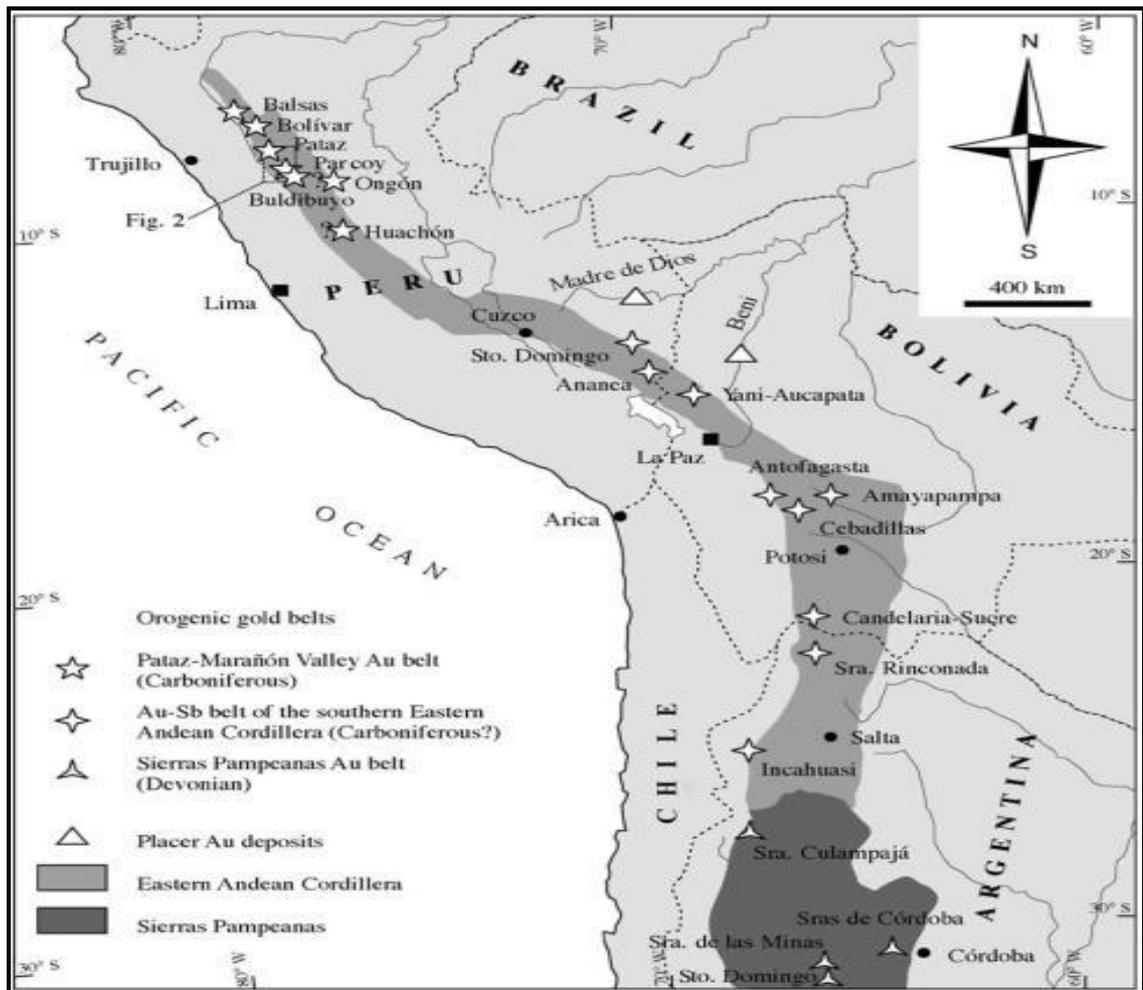
Los yacimientos se distribuyen a lo largo de la margen occidental, en parte también oriental del Batolito de Pataz (edad U-Pb de la intrusión: 329 Ma, edades  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  de enfriamiento: 329-328 Ma). La más cercana aproximación a la edad de las vetas auríferas se obtuvo a partir de medidas de 314-312 Ma  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  en muscovita de la alteración asociada a la mineralización.

Estructuralmente presentan estilos similares mayormente de alineamiento NW con buzamientos al Este sufriendo ligeros cambios en las zonas de deformación de ductilidad - cizallamiento, presenta una secuencia de mineralización y asociación metálica de Au, Ag, As, Fe, Pb, Zn,  $\pm\text{Cu}$ ,  $\pm\text{Sb}$ ,  $\pm(\text{Bi-Te-W})$  con más de 2 estadios de deposición de menas ricas en sulfuros; presenta una alteración hidrotermal de la roca caja con sericitización, cloritización, piritización y en menor proporción argilización y silicificación.

De acuerdo a los estudios de isotopía (Heaberlin 2002) las vetas de Pataz presentan una homogeneidad isotópica a escala regional que indica un flujo de fluidos a escala de decenas de kilómetros. La combinación de las edades isotópicas disponibles en el área de Pataz indica que la mineralización de oro es de  $\geq 314\text{-}312$  Ma posterior en 4 a 17 Ma al emplazamiento del Batolito de Pataz, su principal roca de caja (329 Ma).

Tal lapso de tiempo, apoyado por los resultados de isótopos radiogénicos trazadores y el tamaño del sistema hidrotermal, lleva a descartar un vínculo genético entre las vetas de oro y los plutones relativamente someros como el Batolito de Pataz, La roca caja (intrusivo) y los corredores de debilidad a lo largo de sus márgenes constituyeron sólo una trampa estructural con

propiedades mecánicas adecuadas. Tomando en consideración los modelos existentes en otras partes del mundo, los yacimientos de oro de Pataz constituyen un nuevo ejemplo de circulación de fluidos a gran escala generada por fenómenos de reequilibrio tectónico y térmico como consecuencia de un engrosamiento cortical en un margen convergente. Bajo estas condiciones favorables los fluidos acuoso-carbónicos de salinidades bajas habrían sido liberados de la corteza inferior y habrían ascendido siguiendo lineamientos regionales. A una profundidad de  $16\pm 5$  km estos fluidos depositaron cuarzo y ankerita, especialmente en fracturas inversas de segundo orden, así como en fallas de extensión al borde del batolito. Considerando la situación de convergencia de placas, de exhumación y del rol pasivo de la roca encajonante, los yacimientos vetiformes de Pataz presentan paralelismos con un gran número de yacimientos de tipo orogénico emplazados en plutones. Los equivalentes más próximos son, para el Paleozoico medio y superior, los distritos de St. Yrieix en Francia y de Charters Towers en Australia. En los Andes, la provincia de Pataz es la expresión septentrional de los cinturones de edad devoniana a carbonífera de oro, antimonio y tungsteno de tipo orogénico, que se extienden a lo largo de la Cordillera Oriental y las Sierras Pampeanas hasta la parte centro-occidental de Argentina, y que incluyen los distritos y yacimientos históricos como Ananea, Santo Domingo, Yani-Aucapata, Amayapampa, Sierra de la Rinconada y Sierras Córdoba.



**Figura N° 08:** Metalotecto de Patáz en el cinturón Orogénico.

**Fuente:** Departamento de Geología Marsa.

### 2.3.6 Geología del yacimiento.

El yacimiento el Gigante corresponde a un típico yacimiento orogénico con mineralización de Au y como subproducto Ag, se ha explorado y explotado desde el nivel 4200 (afloramiento) siendo el último nivel de desarrollo el 2270, con evidencias de mineralización económica hasta la cota 1800. Con una profundidad de mineralización de 4.2 km. (Bz 30°). Conformado principalmente por las vetas Esperanza, Sistema Cabanas, Daniela, Valeria de un alineamiento NW buzando al NE y el sistema BB con otro control estructural (N30°E/45°NW), en profundidad se está explorando las vetas Daniela y todo el sistema asociado y el sistema de vetas BB; La roca encajonante es intrusivo del batolito de pataz, al borde Este se tiene enclaves – megaxenolitos de filitas del complejo Marañón los cuales se comportan como roca encajonante en tramos de la veta BB.

En el distrito minero, las zonas de fallamientos y fracturamientos pre-existentes dentro del intrusivo, han servido de canales de circulación de las soluciones mineralizantes hidrotermales, depositándose en las trampas estructurales, dando lugar a la formación de vetas; posteriormente, estas vetas han sido falladas y plegadas en más de dos eventos tectónicos; razón por la cual, se presentan muy irregulares en su comportamiento estructural y en continuidad.

El relleno de las estructuras mineralizadas está constituido por cuarzo lechoso, pirita, arsenopirita, marmatita - esfalerita, calcopirita, galena, pirrotita y oro en estado nativo y libre.

## **2.4 Ciclo de minado**

La explotación del mineral aurífero se realiza utilizando métodos de minería subterránea convencional y semi-mecanizada con una producción diaria de 1,750 toneladas de material geológico con un Striping Ratio de 1.1: 1, los métodos de explotación empleados son el corte y relleno ascendente (convencional), Long Wall, Cámaras y Pilares, y Recuperación de Puentes y Pilares. El relleno de tajeos es con relave fracción gruesa proveniente de la Planta Concentradora y procesada en la planta de relleno hidráulico 100% relave. Así mismo se usa desmonte para relleno detrítico en los tajeos con método de minado corte y relleno ascendente.

### **2.4.1 Ventilación**

El sistema de ventilación de la mina, es forzado con ventiladores principales y auxiliares.

### **2.4.2 Desatado**

Previa a la perforación se realiza el desatado de rocas sueltas en el techo y los hastiales, con el juego de la barretillas estándar para cada tipo de labor. La altura del techo tanto para el desatado como para la perforación depende del tipo de labor a realizar. Para el caso de la Rampa Principal RP Patrick 3 de sección 4.00x4.50 metros, se hace uso de equipos con plataforma como el Sicsor y un juego de barretillas de acuerdo a estándar. Considerando que esa es la altura estándar para la perforación con Jumbo.

### **2.4.3 Perforación**

En tajos se realiza perforación convencional con equipos neumáticos tipo Jackleg, perforando 11 taladros por disparo para el caso de convencional y 28 taladros en promedio por disparo para el caso del semi-mecanizados, con rendimiento promedio de 3.1 TM/Hg y 8.5 TM/Hg, y longitudes de taladro de 4 pies, 5 pies y 8 pies.

Dimensiones del Tajeo convencional: 40.0m x 40.0m (AxH) y su longitud de perforación promedio 1.5 m, diámetro e perforación 38 mm, malla de perforación: corte en V, dependiendo la potencia de veta.

En el caso de avances lineales, la perforación se realiza con equipos neumáticos tipo Jackleg y Jumbo sus rendimientos de avance son de 28 cm/H-gda y 45 cm/H-gda respectivamente donde la limpieza es con pala y scoop, las longitudes de perforación son de 6 pies, 8 pies, 11 pies y 13 pies según el tipo de labor.

#### **2.4.4 Voladura**

Para realizar la voladura se efectúa usando Carmex, mecha rápida y dinamita. También se usa el detonador eléctrico, detonador no eléctrico y cordón detonante (en rampas, cruceros y chimeneas Raise Climber).

#### **2.4.5 Acarreo**

Para la limpieza en la explotación convencional se cuenta con winches eléctricos de 15 HP que mueven rastrillos de 36" y 42", por otro lado también se hace uso de las carretillas de 4 pies<sup>3</sup> (en recuperación de pilares). Así mismo el uso de pala neumático y scoop. El acarreo se realiza en un mismo nivel, iniciando en los tajeos de producción y avances, siendo su destino final los echaderos de mineral y desmonte.

#### **2.4.6 Transporte**

Para realizar el transporte de mineral y desmonte se utiliza volquetes de 15 m<sup>3</sup> y 20 m<sup>3</sup> de capacidad, las secciones por donde van a transitar dichos equipos serán de 4.0 m x 4.5 m. cargando el material de las respectivas cámaras de carguío. Para el avance de la rampa de profundización, la evacuación del desmonte se inicia en las cámaras de carguío ubicadas cada 200 m en el avance.

El punto final del mineral transportado es la planta concentradora, y del desmonte hacia la remediación del pasivo Corte Colorado.

## **2.5 Bases teóricas**

Según la U.S. National Committee on Rock Mechanics (1974), define la mecánica de rocas como una “ciencia teórica y aplicada del comportamiento mecánico de la roca y de los macizos rocosos; esto es, aquella rama de la mecánica que trata con la respuesta de la roca y de los macizos rocosos al campo de fuerzas de su entorno físico

Otro concepto dado por la sociedad de geomecánica en Australia (Australian Geomechanics Society), define a la geomecánica como “la aplicación de principios geológicos y de ingeniería al comportamiento de los suelos, del agua subterránea y al uso de estos principios a la ingeniería civil, ingeniería de minas, ingeniería de costos e ingeniería ambiental en el sentido más amplio”. Esta definición de geomecánica es casi sinónimo del término ingeniería geotécnica, la cual es definida como “la aplicación de la ciencia de mecánica de suelos, mecánica de rocas, ingeniería geológica y de otras disciplinas relacionadas a la construcción en ingeniería civil, las industrias de extracción y a la preservación y mejora del ambiente” (Anon, 1999)

Es la disciplina que estudia las características mecánicas de la roca. Esta disciplina está basada en las teorías y conceptos de la mecánica de rocas y mecánica de suelos, que relacionan el comportamiento de la masa rocosa bajo los cambios producidos por las operaciones mineras.

La geomecánica utiliza resultados experimentales de campo y laboratorio conjuntamente con soluciones analíticas para resolver problemas particulares.

Es una ciencia que estudia el comportamiento mecánico de la masa rocosa considerando los aspectos geológicos y estructurales, para una mejor aplicación del diseño de labor minera y el sostenimiento.

### **2.5.1 Caracterización geomecánica**

La caracterización geomecánica resulta fundamental para definir las propiedades mecánicas de la roca “intacta”, las estructuras y el macizo rocoso; además de la hundibilidad, forma de desarme y fragmentación del macizo rocoso.

En geomecánica se habla en muchas ocasiones de roca o roca intacta para referirse a un elemento (trozo, bloque, probeta) de roca que no presenta discontinuidades observables. Por roca intacta se entiende los trozos de roca que se ubican entre las estructuras presentes en el macizo rocoso, y usualmente se considera que las propiedades de la roca “intacta” pueden determinarse mediante ensayos de laboratorio sobre probetas con un diámetro del orden de 50 mm y una altura de unos 100 mm, o sea con un volumen del orden de  $10^{-4}m^3$ .

En la naturaleza las rocas aparecen muy comúnmente atravesadas por distintos caracteres geológicos estructurales y discontinuidades de origen geológico variable, como la estratificación, esquistosidad, pliegues, fallas, juntas o diaclasas. Los macizos rocosos son por tanto discontinuos y pueden presentar propiedades heterogéneas y/o anisótropas. Por macizo rocoso se entiende el conjunto roca “intacta” y estructuras, en un volumen de tamaño tal que representa adecuadamente la situación que se está considerando. Esto significa que el macizo rocoso puede tener un volumen del orden de  $10^5m^3$ , si se está analizando la estabilidad de una galería, a más de  $10^7m^3$ , si se está analizando la estabilidad de un sector productivo.

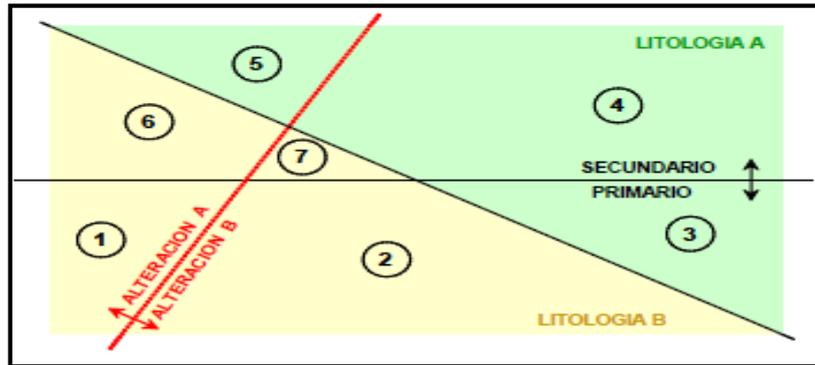
Lo anterior significa que las propiedades del macizo rocoso no pueden medirse directamente, sino que deben estimarse en función de las propiedades de la roca “intacta” y las características del arreglo de bloques que componen el macizo rocoso, usualmente representadas en función de algún índice de calidad geotécnica. (Karzulovic Livesey, 2013)

Considerando que las propiedades mecánicas de la roca “intacta” dependen no solo del tipo litológico, sino que también de la mineralización y del tipo y grado de alteración, es preciso definir las unidades geotécnicas básicas que equivalen a la cantidad de tipos de roca intacta presentes en el área de interés. Para esto, deben utilizarse los resultados de la caracterización geológica y superponer la litología, la mineralización y la alteración para definir las unidades geotécnicas básicas. Ejemplo de 7 unidades geotécnicas básicas:

- (1) Roca primaria + Litología B + Alteración A
- (2) Roca primaria + Litología B + Alteración B
- (3) Roca primaria + Litología A + Alteración B
- (4) Roca secundaria + Litología A + Alteración B
- (5) Roca secundaria + Litología A + Alteración A

(6) Roca secundaria + Litología B + Alteración A

(7) Roca secundaria + Litología B + Alteración B



**Figura N° 09:** Definición de las unidades geotécnicas básicas por superposición de la litología, la mineralización y la alteración.

**Fuente:** Investigaciones Científicas.

Dependiendo de sus características y condiciones, la masa rocosa puede variar de una mina a otra, como también de área en área dentro de una misma mina. Con el paso del tiempo crecen las labores mineras y el minado se realiza a mayores profundidades, desarrollándose así diferentes problemas de inestabilidad en la roca.

Cuando el personal de la mina sea capaz de conocer la roca, va a estar con mejor capacidad de identificar los peligros potenciales que podrían causar accidentes. Conocer la roca también permitirá tomar decisiones correctas sobre diferentes aspectos relacionados con las labores mineras, entre otras, se podrá establecer la dirección en la cual se deben avanzar las excavaciones, el tamaño de las mismas, el tiempo de exposición abierta de la excavación, el tipo de sostenimiento a utilizar y el momento en que éste debe ser instalado.

### 2.5.1.1 Roca intacta

Es el bloque ubicado entre las discontinuidades y podría ser representada por una muestra de mano o trozo de testigo que se utiliza para ensayos de laboratorio.

Tipo de Roca	Clase	Grupo	Textura			
			Gruesa (> 2 mm)	Media (0.6 a 2 mm)	Fina (0.2 a 0.6 mm)	Muy Fina (< 0.2 mm)
SEDIMENTARIAS	Clásicas		← Conglomerados (VER NOTA) → ← Brechas (VER NOTA) →	← Areniscas (17 ± 4) →	← Limolitas (7 ± 2) → ← Arcillolitas (4 ± 2) → ← Margas (7 ± 2) →	
		No Clásicas	Carbonatos	← Calizas Cristalinas (12 ± 3) → ← Calizas Esparíticas (10 ± 2) → ← Dolomitas (9 ± 3) →	← Calizas Micríticas (9 ± 2) →	
	Evaporitas		← Yeso (8 ± 2) →	← Anhidrita (12 ± 2) →		
	Orgánicas			← Creta (Tiza) (7 ± 2) →		
METAMÓRFICAS	No Foliadas		← Mármol (9 ± 3) → ← Cuarzitas (20 ± 3) → ← Meta-Areniscas (19 ± 3) →			
	Ligeramente Foliadas		← Gneiss (28 ± 5) → ← Anfibolitas (26 ± 6) → ← Migmatitas (29 ± 3) →			
	Foliadas		← Pizarras (7 ± 4) → ← Esquistos (12 ± 3) →	← Filitas (7 ± 3) →		
IGNEAS	Intrusivas	Claras	← Granitos (32 ± 3) → ← Granodioritas (29 ± 3) →	← Dioritas (25 ± 5) →		
		Oscuras	← Noritas (20 ± 5) →	← Gabros (27 ± 3) → ← Doleritas (16 ± 5) →		
	Hipabisales		← Peridotitas (25 ± 5) → ← Pórfidos (20 ± 5) →	← Diabasas (15 ± 5) →		
		Volcánicas	Lavas	← Riolitas (25 ± 5) →	← Basaltos (25 ± 5) → ← Dacitas (25 ± 3) →	← Obsidianas (19 ± 3) → ← Andesitas (25 ± 5) →
	Piroclásticas		← Aglomerados (19 ± 3) → ← Brechas (19 ± 5) →	← Tobas (13 ± 5) →		

Figura N° 10: Valores de mi para roca intacta (modificada por Marinós & Hoek – 2000).

Fuente: Investigaciones Científicas.

### 2.5.1.2 Macizo Rocoso

Es el medio in situ que contiene diferentes tipos de discontinuidades como diaclasas, estratos, fallas y otros rasgos estructurales. Dependiendo de cómo se presenten estas discontinuidades o rasgos estructurales dentro de la masa rocosa, ésta tendrá un determinado comportamiento frente a las operaciones de minado.

Para definir las propiedades mecánicas del macizo rocoso es preciso “escalar” las propiedades de la roca “intacta” considerando la calidad geotécnica del macizo rocoso, la cual se define en términos de un índice

de calidad geotécnica asociado a algún sistema de calificación y clasificación geotécnica de macizos rocosos.

## 2.5.2 Discontinuidades de la masa rocosa

Son estructuras planares presentes en el macizo rocoso que afectan su continuidad. Estos planos afectan a las propiedades de las rocas (deformabilidad, resistencia, permeabilidad). Los principales tipos de discontinuidades presentes en la masa rocosa son:

### 2.5.2.1 Planos de estratificación

Dividen en capas o estratos a las rocas sedimentarias.



Figura N° 11: Planos de estratificación.

Fuente: Sociedad Nacional de Minería, Energía y petróleo.

### 2.5.2.2 Fallas

Son fracturas que han tenido desplazamiento. Estas son fracturas menores que se presentan en áreas locales de la mina o estructuras muy importantes que pueden atravesar toda la mina

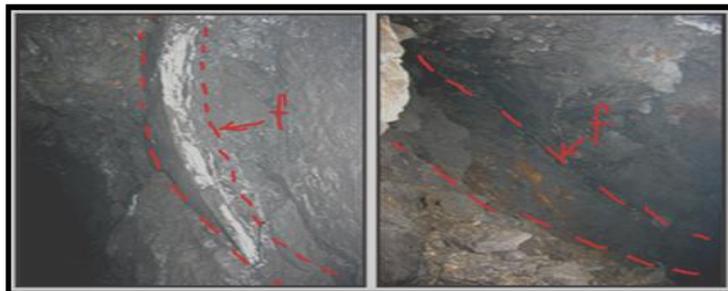


Figura N° 12: Fallas presentes en la estructura rocosa.

Fuente: Sociedad Nacional de Minería, Energía y petróleo.

### 2.5.2.3 Zonas de corte

Son bandas de material que pueden ser de varios metros de espesor, en donde ha ocurrido fallamiento de la roca.



**Figura N° 13:** Zonas de corte en el macizo rocoso.

**Fuente:** Sociedad Nacional de Minería, Energía y petróleo.

### 2.5.2.4 Diaclasas

También denominadas juntas, son fracturas que no han tenido desplazamiento y las que comúnmente se presentan en la masa rocosa.



**Figura N° 14:** Diaclasas en la estructura rocosa.

**Fuente:** Sociedad Nacional de Minería, Energía y petróleo.

### 2.5.2.5 Planos de foliación o esquistosidad

Se forman entre las capas de rocas metamórficas dando la apariencia de hojas o láminas.



**Figura N° 15:** Planos de foliación.

**Fuente:** Sociedad Nacional de Minería, Energía y petróleo.

### 2.5.2.6 Contactos litológicos

Limite diferenciado entre dos tipos diferentes de roca o materiales en el macizo rocoso. Es común encontrarlos en la mina, por ejemplo, la caja techo y caja piso de una veta.

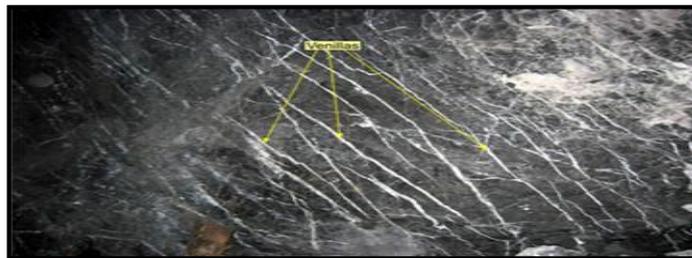


**Figura N° 16:** Zona de contacto.

**Fuente:** Sociedad Nacional de Minería, Energía y petróleo.

### 2.5.2.7 Venillas

Son rellenos de las fracturas con otros materiales.



**Figura N° 17:** Venillas.

**Fuente:** Sociedad Nacional de Minería, Energía y petróleo.

### 2.5.2.8 Discordancia

Es una superficie de erosión o de deposición de sedimentos, señalada en la secuencia estratigráfica por falta de estratos. Hay discordancias horizontales y angulares.

**Discordancia angular.** Cuando separa una serie de estratos que tienen diferentes orientaciones, en la que el buzamiento de los estratos superiores es diferente que el de las inferiores. De forma resumida, si

después del emplazamiento de una formación rocosa, ésta haya sido deformada, plegada y erosionada, otra roca sedimentaria se deposita sobre ella, ésta superficie de separación se denomina discordancia angular.

**Discordancia horizontal.** Aquella que separa formaciones sedimentarias, que tienen buzamientos horizontales.



**Figura N° 18:** Discordancia angular.

**Fuente:** Sociedad Nacional de Minería, Energía y petróleo.

### 2.5.3 Rasgos estructurales

Existen rasgos geológicos importantes que deben ser tomados en cuenta, como:

#### 2.5.3.1 Pliegues

Son estructuras notables en las rocas sedimentarias, en las cuales los estratos se presentan curvados formando anticlinales y sinclinales



**Figura N° 19:** Pliegues.

**Fuente:** Sociedad Nacional de Minería, Energía y petróleo.

#### 2.5.3.2 Diques

Son intrusiones de roca ígnea de forma tabular, que se presentan generalmente empinadas o verticales.

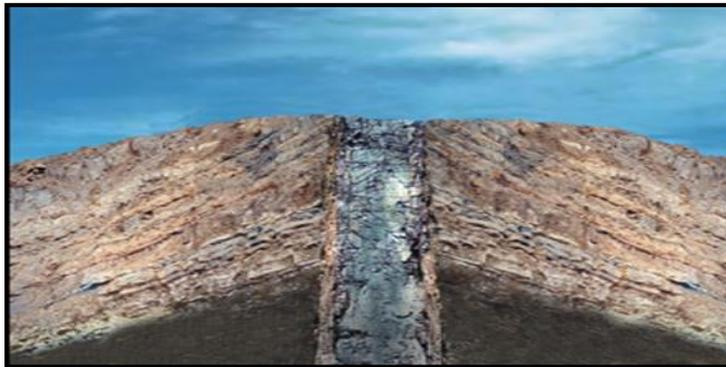


**Figura N° 20:** Dique.

**Fuente:** Sociedad Nacional de Minería, Energía y petróleo

### **2.5.3.3 Chimeneas**

Son intrusiones de roca ígnea que han dado origen a los conos volcánicos, o sea son los cuellos volcánicos y que vienen a ser las raíces de los volcanes erosionados.



**Figura N° 21:** Chimenea.

**Fuente:** Sociedad Nacional de Minería, Energía y petróleo

### **2.5.3.4 Sills**

Son intrusiones de roca ígnea de forma tabular, paralelas a la estratificación de las rocas sedimentarias intruidas.

### **2.5.3.5 Lacolitos**

Son intrusiones que han arqueado en forma de domo los estratos entre los cuales ha sido insertado a través de diques.

### **2.5.3.6 Lopolitos**

Son intrusivos concordantes con la cuenca estructural. En el caso más simple los estratos encima y debajo del lopolito, se inclinan hacia un centro común.

#### **2.5.3.7 Facolitos**

Son intrusivos concordantes confinados a las crestas de los anticlinales o a los senos de los sinclinales.

### **2.5.4 Características de las discontinuidades estructurales**

Todas las discontinuidades presentan propiedades geomecánicas importantes que las caracterizan y que influyen en el comportamiento de la masa rocosa.

Además de las propiedades intrínsecas del macizo rocoso asociado a las características de la matriz rocosa y de las discontinuidades, que definen en gran parte su resistencia, existen otros factores que afectan a su comportamiento mecánico, como son:

- Estructuras tectónicas y sedimentarias no discontinuas en el macizo rocoso (por ejemplo pliegues).
- Las tensiones naturales a que está sometido (estado tensional in situ).
- Las condiciones hidrogeológicas y los factores geoambientales.

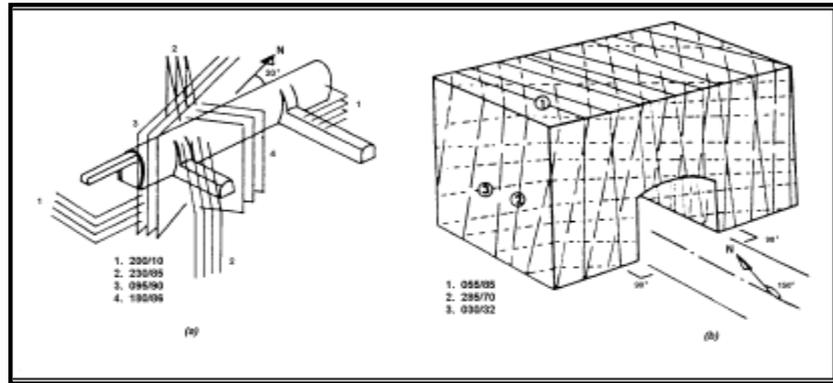
Las características de las discontinuidades estructurales se pueden agrupar de la manera siguiente: (1) las de tipo geométrico que determinan el tamaño, la forma y la posición espacial de fragmentos o bloques de roca, los cuales tienen que ver con la orientación y espaciamiento de las discontinuidades: (2) las que determina la resistencia a lo largo de las discontinuidades en el caso de los macizos de roca dura, que tiene que ver con la persistencia de las discontinuidades; las aberturas, rellenos y sellantes; las asperezas superficiales de las diaclasas, su persistencia o continuidad, la resistencia de la pared y el patrón de flujo de agua. Estos factores se describen a continuación.

#### **2.5.4.1 Orientación**

La orientación espacial de una discontinuidad se describe por el rumbo y el buzamiento de la misma. Por lo general los macizos rocosos presentan familias de discontinuidad o sistemas de discontinuidad. El primer término se refiere a un conjunto de diaclasas paralelas, el segundo tiene que ver

con agrupaciones típicas de diaclasas cada una de las cuales por lo general presenta la misma historia de esfuerzos.

Esta característica controla la posibilidad de que se presente condiciones favorables o desfavorables de estabilidad, según la manera como influya la redistribución de esfuerzos en los planos de discontinuidad.

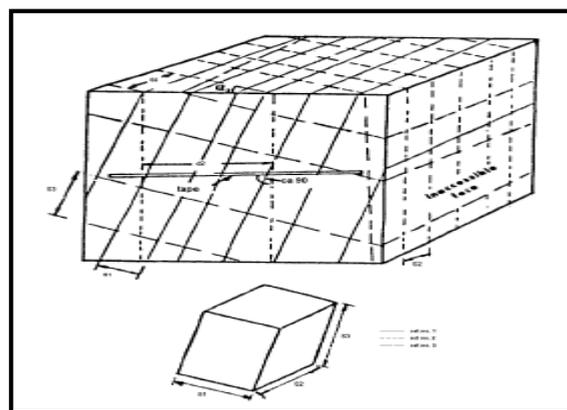


**Figura N° 22:** Orientación de discontinuidades.

**Fuente:** Investigaciones Científicas.

#### 2.5.4.2 Espaciado

Es la distancia perpendicular entre discontinuidades adyacentes. Éste determina el tamaño de los bloques de la roca intacta. Cuanto menos espaciado tengan, los bloques serán más pequeños y cuanto más espaciado tengan, los bloques serán más grandes.



**Figura N° 23:** Espaciado de una discontinuidad.

**Fuente:** Investigaciones Científicas.

#### 2.5.4.3 Persistencia

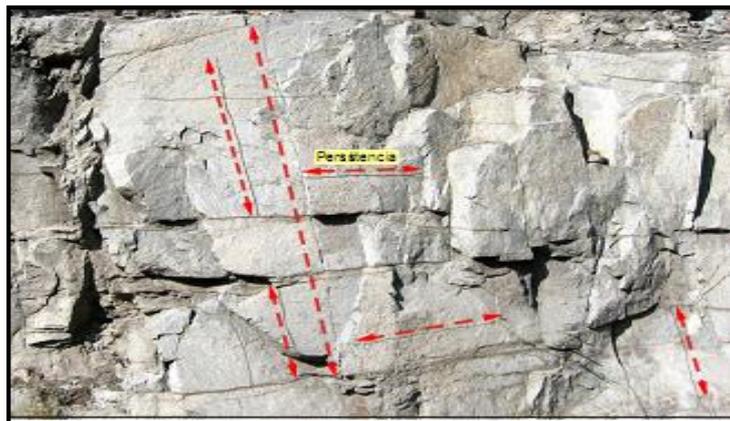
Es la extensión en área o tamaño de una discontinuidad. Cuanto menor sea la persistencia, la masa rocosa será más estable y cuanto mayor sea ésta, será menos estable.

Este factor de muy difícil medición, está relacionado con el grado de continuidad de las diaclasas; en promedio determina la extensión para la cual el material rocoso y las diaclasa afectan separadamente las propiedades mecánicas de la masa. La resistencia al corte en este caso depende de la combinación de la resistencia inherente al corte de los puentes de roca intacta y aquella que se pueda desplazar a lo largo de la discontinuidad.

Este factor puede expresarse en un coeficiente de continuidad ( $k$ ) de diaclasamiento para una superficie potencial de falla, el cual se define como la relación entre la suma de áreas de diaclasas localizadas a lo largo de esta superficie y el área total de la misma.

Para la medida de continuidad se recomienda medir la longitud de la discontinuidad, hasta su interrupción en el caso que sea visible, tanto a lo largo del buzamiento como a lo largo de la dirección de capa.

La persistencia para diferentes familias de discontinuidad puede considerarse como: persistentes, subpersistentes y no persistentes.



**Figura N° 24:** Persistencia de una discontinuidad.

**Fuente:** Investigaciones Científicas.

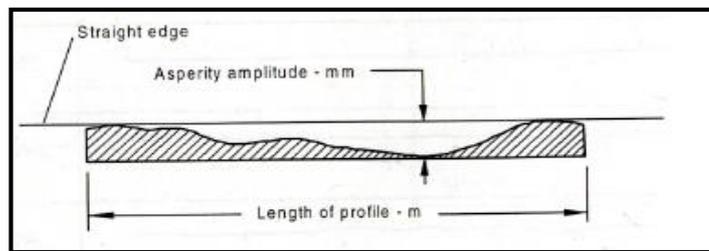
#### 2.5.4.4 Rugosidad

Es la aspereza o irregularidad de la superficie de la discontinuidad. Cuanto menor rugosidad tenga una discontinuidad, la masa rocosa será menos competente y cuanto mayor sea ésta, la masa rocosa será más competente.

Las discontinuidades estructurales de los macizos de roca dura, no son planas y lisas: Presentan irregularidades visibles o sensibles al tacto, con influencia variable sobre la resistencia al corte desplazada a lo largo de ellas.

Al respecto se reconocen dos tipos de asperezas o rugosidad superficial: uno de primer orden, u ondularidad que se relacionan con la forma de las diaclasas y otro de segundo orden, o asperezas, el cual se relacionan con la naturaleza de la superficie de discontinuidad. Las irregularidades de primer orden se describen como planares, onduladas y pendientes. Se expresan de acuerdo con su inclinacion promedio. Estas irregularidades son las que ejercen mayor influencia en la resistencia al corte.

Las de segundo orden se describen como pulidas, lisas y rugosas; son de caracter muy debil y solo ejercen algun control al nivel bajo de esfuerzos, vale decir, en el caso excavaciones pequenas de taludes.

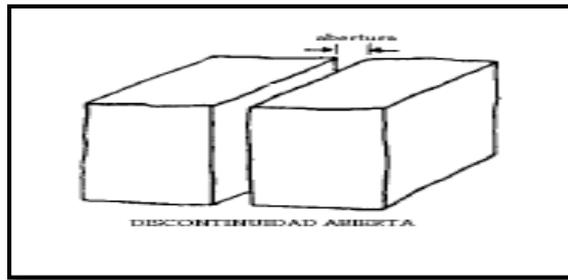


**Figura N° 25:** Rugosidad de una discontinuidad.

**Fuente:** Investigaciones Científicas.

#### **2.5.4.5 Apertura**

Es la separación entre las paredes rocosas de una discontinuidad o el grado de abierto que ésta presenta. A menor apertura, las condiciones de la masa rocosa serán mejores y a mayor apertura, las condiciones serán más desfavorables.

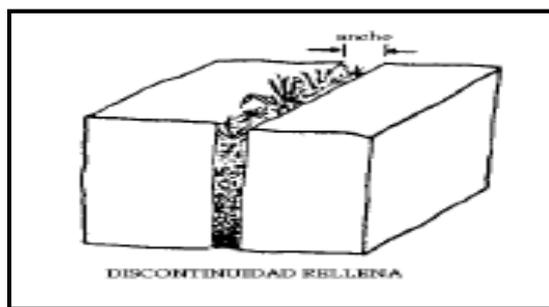


**Figura N° 26:** Apertura de una discontinuidad.

**Fuente:** Investigaciones Científicas.

#### 2.5.4.6 Relleno

Son los materiales que se encuentran dentro de la discontinuidad. Cuando los materiales son suaves, la masa rocosa es menos competente y cuando éstos son más duros, ésta es más competente.



**Figura N° 27:** Relleno de una discontinuidad.

**Fuente:** Investigaciones Científicas.

#### 2.5.4.7 Flujo de agua

En los macizos rocosos el flujo de agua está concentrado preferencialmente en las diaclasas abiertas y las cabezas hidráulicas generadas, dependen de la intercomunicación que existe entre las discontinuidades. Es muy común la ocurrencia de fallas, como consecuencia de altas cabezas que operan como cunas hidráulicas.

En los suelos el flujo de agua es relativamente isotrópico y el nivel freático corresponde al nivel que alcanza el agua en un pozo y que corresponde a la presión atmosférica.

### 2.5.5 Estado tensional

El esfuerzo actuante sobre un plano tiene dos componentes. La componente normal, actuando perpendicular a la superficie, y la otra componente al corte, actuando paralelo a la superficie.

Las tensiones que actúan sobre una excavación subterránea pueden ser naturales e inducidas.

Previamente a la excavación en un macizo rocoso en cualquier punto de su interior existe un estado tensional inicial natural, que es el correspondiente a los procesos tectónicos y gravitacionales. Cuando se ejecuta una obra subterránea en el citado macizo rocoso el estado tensional final depende tanto del estado natural como de las tensiones inducidas por la excavación.

Al existir una relación directa entre las tensiones inducidas y las tensiones iniciales, es obvio que la determinación del estado tensional inicial es un condicionante previo al diseño de cualquier infraestructura subterránea.

Los esfuerzos en 3-D son más difíciles de visualizar. La expresión matemática usada para describir tal estado es el "Tensor" de esfuerzo, el cual expresa los tres esfuerzos normales y los seis esfuerzos al corte actuando sobre las caras de un cubo ficticio e infinitesimal en tres direcciones ortogonales.

El estado tensional existente en un punto, es el resultado de la acción de todos los procesos geológicos que han actuado en dicho punto.

#### 2.5.5.1 Esfuerzos insitu

Son aquellos esfuerzos pre-existentes en el macizo rocoso, antes del minado, como el que se registran en los puntos de inicio de labores en superficie.

Si sólo existieran las tensiones gravitacionales, la tensión vertical en un punto cualquiera de la corteza terrestre tendría una magnitud equivalente a la originada por el peso de los materiales suprayacentes y por tanto:

$$\sigma_v = \rho \cdot g \cdot z$$

Dónde:

- $\sigma_v$  Componente vertical del estado tensional.
- $\rho$  Densidad media de los materiales suprayacentes
- $g$  Aceleración de la gravedad.
- $z$  Profundidad respecto a la superficie.
- $\gamma$  Peso específico medio de los materiales suprayacentes.

Las tensiones horizontales que actúan en el seno de un macizo rocoso son mucho más difíciles de estimar, puesto que en general engloban la parte no gravitacional de las fuerzas que inducen el estado tensional y que responden a fenómenos geológico-tectónicos del macizo rocoso, con la correspondiente dificultad.

$$\sigma_H = k_0 \cdot \rho \cdot z$$

Siendo:

- $\sigma_H$  Componente horizontal del estado tensional.
- $k_0$  Coeficiente de reparto de tensiones-Coeficiente de empuje en reposo.
- $\rho$  Densidad media de los materiales suprayacentes.
- $z$  Profundidad respecto a la superficie.

Para la estimación del valor del coeficiente  $k$ , existen varias formulaciones propuestas por distintos autores, como son Terzaghi y Richard's (1) o Sheorey (2).

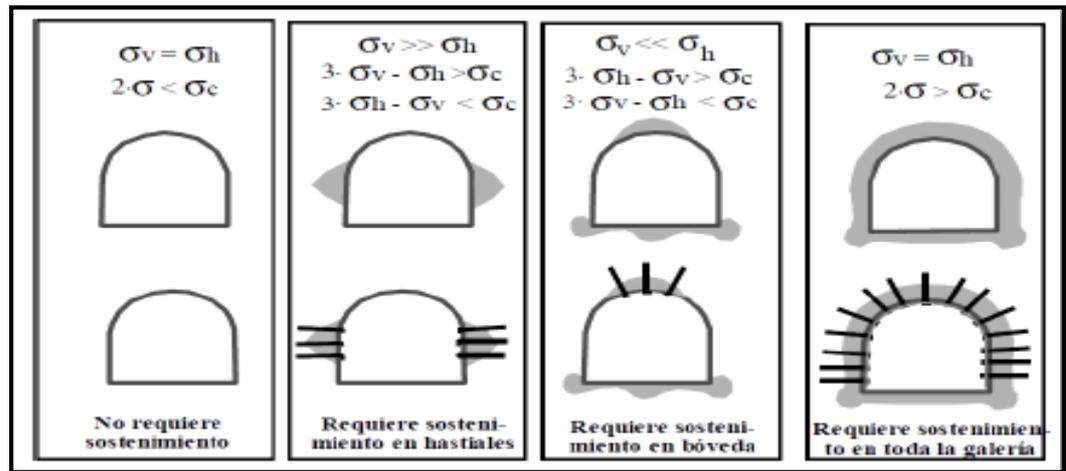
Si se supone que el macizo es elástico e isótropo y que se cumplen condiciones de deformación lateral nula:

$$k_0 = \frac{\sigma_H}{\sigma_v} = \frac{\nu}{1 - \nu} \quad (1)$$

Considerando la curvatura de la corteza terrestre y la variación de las constantes elásticas, densidad y coeficiente de expansión térmica a lo largo de la corteza y del manto:

$$k_0 = \frac{\sigma_H}{\sigma_v} = 0,25 + 7 E_h \left( 0,001 + \frac{1}{z} \right) \quad (2)$$

Siendo  $Eh$  el módulo de deformación horizontal medio, en GPa, de la parte superior de la corteza, y  $z$  la profundidad en metros respecto a la superficie.



**Figura N° 28:** Relevancia del estado tensional en el diseño del sostenimiento.

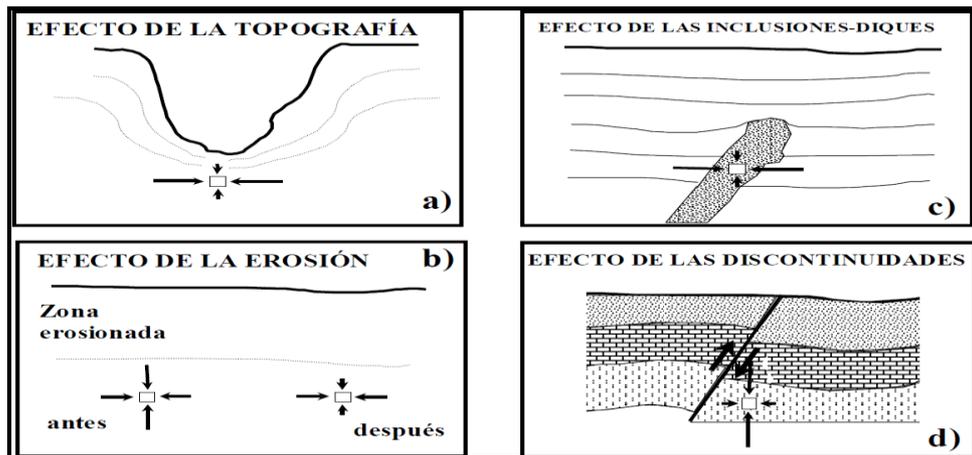
**Fuente:** Investigaciones Científicas.

Existen además, otros factores que afectan de forma decisiva al estado tensional inicial, como son:

- **Topografía:** En las cimas de las montañas se produce localmente una reducción del valor de  $k_0$ , que se incrementa en los valles. En zonas de topografía escarpada como pueden ser valles profundos, cañones o ríos encajados, el empuje de los materiales situados en los laterales hará que aumente de manera importante la tensión horizontal perpendicular a la estructura ( $\sigma_H > \sigma_V$ ) en el fondo de la depresión.
- **Erosión:** Si tras un equilibrio elástico inicial se produce una fase de erosión significativa y las tensiones horizontales se mantienen, entonces éstas tenderán a ser relativamente mayores de lo que inicialmente eran, produciéndose un aumento de  $k_0$ .
- **Anisotropía:** En una sucesión de niveles geológicos de rigideces diferentes, los niveles más rígidos concentran tensiones, mientras que los niveles más deformables aparecen más descargados. Los niveles más rígidos pueden crear puentes de tensiones hasta el punto que los niveles deformables infrayacentes pueden tener una tensión vertical significativamente inferior al peso de la columna litostática.

- **Tensiones residuales:** Por enfriamiento de un magma en rocas ígneas, los minerales irán cristalizando a distintas condiciones tanto de presión como de temperatura. Así, según la zona del magma, se irán creando diferentes niveles de tensiones, que se disiparán lentamente, dando lugar a las denominadas tensiones residuales. También puede darse en rocas sedimentarias que hayan sufrido tectonismo en el pasado.
- **Efecto de las inclusiones o diques:** Siempre que existan materiales de distinta capacidad de transmisión tensional, habrá heterogeneidades tensionales. Así, si en una serie sedimentaria se produce la intrusión de un dique y posteriormente tiene lugar un gran efecto de compresión, el dique al ser rígido tenderá a concentrar las tensiones horizontales.
- **Efecto de las discontinuidades:** En las zonas con presencia de fallas, éstas tienden a convertir toda la energía en deformación. Así, en una zona muy comprimida tectónicamente ( $\sigma_H > \sigma_V$ ) al producirse la rotura, se liberan las tensiones concentradas y se produce deformación, por lo que las tensiones horizontales y verticales variarán de manera significativa tendiendo a ser mínimas en dirección normal a la falla.
- **Efectos de la tectónica:** Sin duda los efectos de la tectónica son los que mayor importancia suelen tener sobre el campo tensional, de entre todos los que se señalan. A partir de las características tectónicas observadas regionalmente en la zona a estudiar, se puede tener una idea aproximada de cómo es el campo tensional.

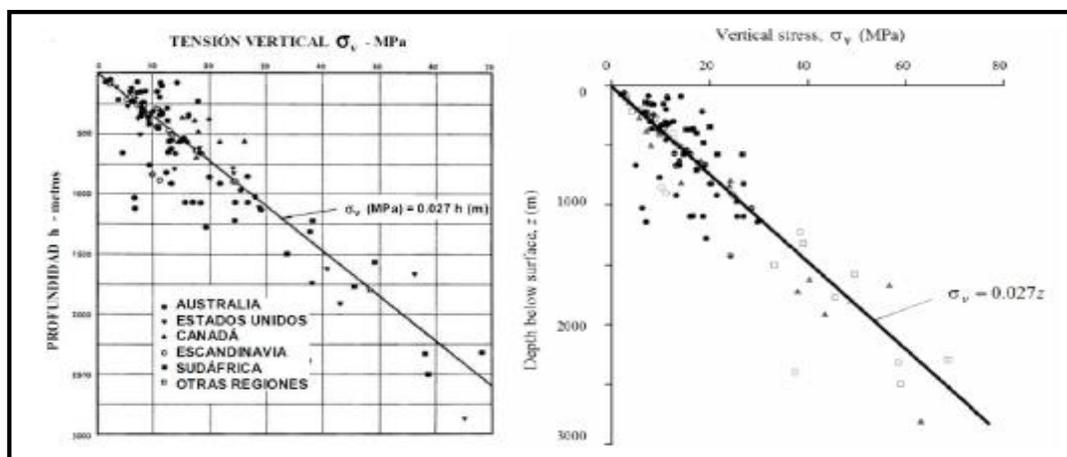
Una estimación preliminar del estado tensional inicial es suficiente para decidir la orientación de una estructura subterránea, alineando el eje mayor de la estructura con la tensión horizontal mayor, para así reducir los problemas tensionales.



**Figura N° 29:** Efectos que contribuyen al estado tensional.

**Fuente:** Investigaciones Científicas.

La estimación del campo tensional no resulta sencilla. Por ello algunos autores han venido recopilando datos reales, medidos "in situ", de los campos tensionales naturales de muy diversas zonas del mundo. Entre las referencias más comunes conviene destacar la recopilación de Hoek y Brown (1980), cuyos resultados más significativos se muestran en las siguientes figuras.

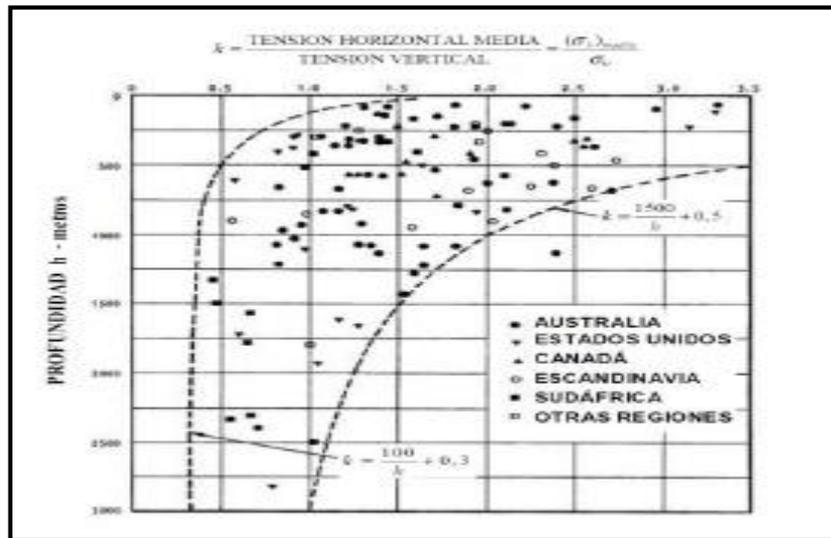


**Figura N° 30:** Tensión vertical en función a la profundidad.

**Fuente:** Investigaciones Científicas.

De dichas gráficas se puede deducir que, en general, las tensiones verticales obtenidas en la mayor parte de los casos contemplados coinciden (+ ó - 20%) con la tensión correspondiente al peso de los materiales suprayacentes en cada una de las zonas.

En la figura 9 se presentan los valores del coeficiente k (relación de tensiones) frente a la profundidad, a partir de la recopilación de datos realizada por Hoek y Brown (1980).



**Figura N° 31:** Valoración de la relación entre tensión horizontal media y la vertical en función de la profundidad.

**Fuente:** Investigaciones Científicas.

### 2.5.5.2 Esfuerzos inducidos

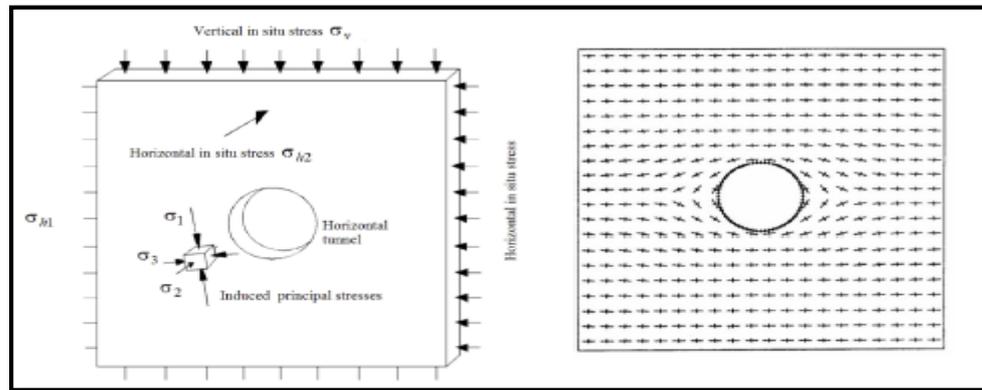
Son aquellos que resultan de la redistribución de esfuerzos, generados como consecuencia de la modificación del estado de esfuerzos naturales debido a un reajuste tensional alrededor de las excavaciones.

Cuando el minado procede a poca profundidad respecto de la superficie, la estabilidad de las excavaciones es condicionada principalmente por la influencia de la estructura de la roca.

A medida que la profundidad del minado aumenta (mayor encampane), en general los esfuerzos naturales en toda la masa rocosa también van incrementándose, debido principalmente al peso de la roca sobreyacente denominada también carga litostática.

Cuando se realiza una excavación subterránea en un macizo rocoso sometido a un estado tensional de partida, las tensiones originales se redistribuyen alrededor del hueco creado. Las nuevas tensiones principales son perpendiculares entre sí pero estarán giradas respecto a las direcciones de aplicación de las tensiones de partida.

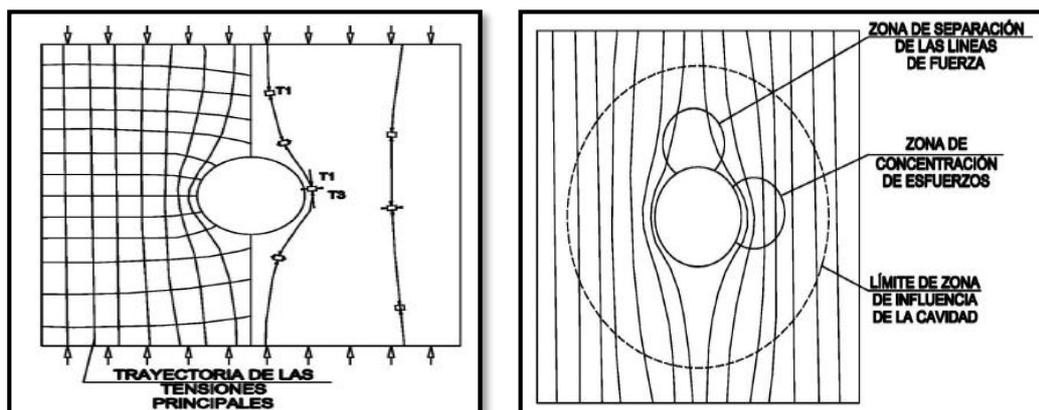
Por lo tanto, la redistribución de tensiones alrededor de una excavación subterránea implica que una de las tensiones principales gira, hasta ponerse en dirección radial al túnel, y se reduce hasta anularse. La otra tensión principal gira hasta la dirección circunferencial (puesto que ha de ser perpendicular a la anterior) y cambia su magnitud.



**Figura N° 32:** Tensión principal inducida alrededor de una galería.

**Fuente:** Investigaciones Científicas.

La forma circular en un hueco es la óptima desde el punto de vista de nivel de tensiones, ya que es menor cuanto mayor es el grado de curvatura. En la medida que la forma se aleja de la circular las tensiones disminuyen en la cara paralela a la dimensión mayor (pudiendo llegar a aparecer tracciones).



**Figura N° 33:** Trayectoria de las tensiones principales mayor y menor.

**Fuente:** Investigaciones Científicas.

A medida que la explotación se profundiza la infraestructura minera penetra en macizos rocosos constituidos de roca primaria. Este tipo litológico de rocas se caracterizan por presentar una mayor rigidez, es

decir una menor tendencia a la deformación, además a mayor profundidad el nivel de esfuerzos aumenta progresivamente

Conforme avanza el minado, los esfuerzos inducidos pueden concentrarse en ciertos lugares de las excavaciones, en otros pueden disiparse. Particularmente en las áreas de concentración de esfuerzos, éstos pueden exceder la resistencia de la roca, resultando en problemas de inestabilidad en la masa rocosa de las excavaciones, significando problemas potenciales de caída de rocas.

### 2.5.5.3 Zona de influencia de una excavación subterránea

Todas las excavaciones subterráneas tienen una zona de influencia en la que se introduce una perturbación significativa al estado tensional de partida. Este concepto de zona de influencia de una excavación es importante pues simplifica el diseño de excavaciones subterráneas al discriminar el volumen de terreno realmente afectado por la excavación.

La extensión de la zona afectada por una excavación se puede ilustrar con el siguiente ejemplo:

La redistribución de tensiones alrededor de un hueco circular de radio  $a$  para un estado tensional inicial hidrostático, ( $k_0 = 1$ , con lo que  $\sigma_v = \sigma_h = P_0$ ) viene definida por las siguientes ecuaciones en coordenadas polares:

$$\sigma_r = P_0 \frac{1-a^2}{r^2}$$

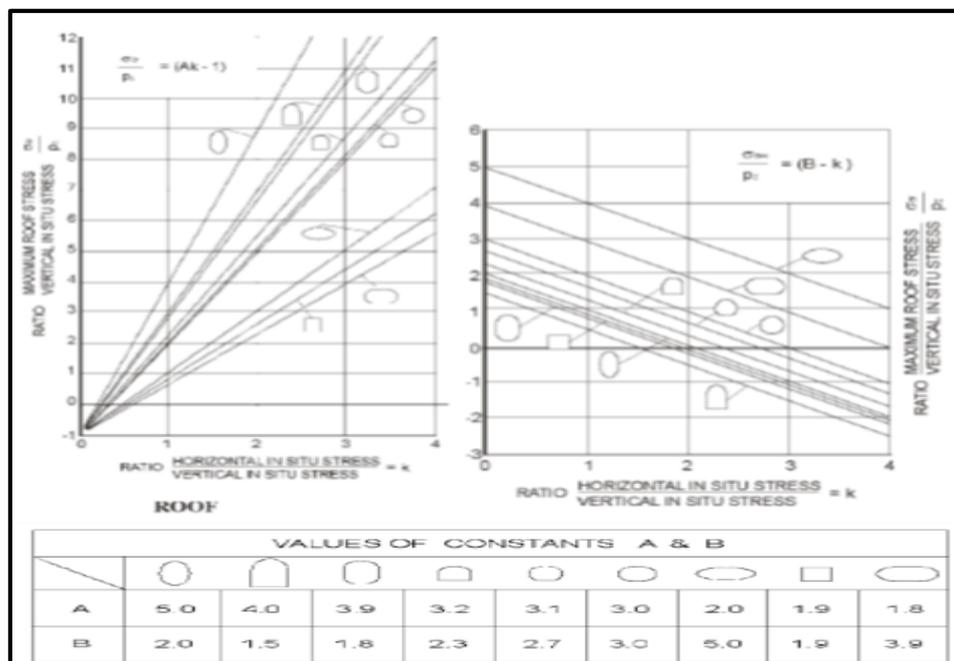
$$\sigma_\theta = P_0 \frac{1+a^2}{r^2}$$

$$\zeta_{r\theta} = 0$$

Evaluando las tensiones en un punto situado a una distancia del centro de la excavación de  $r= 5a$  resulta que  $\sigma_r = 0,96 P_0$  y  $\sigma_\theta = 1.04 P_0$ , con lo que el estado tensional no es significativamente diferente (<5%) al estado tensional de partida. Es decir, si una segunda excavación se sitúa a una distancia superior a  $5a$  de una primera excavación (siendo  $a$  el radio de esta excavación), el estado tensional previo a la apertura de la segunda excavación no será muy diferente del estado tensional natural.

Por lo tanto, en primera aproximación, la regla general es que las galerías subterráneas que se sitúen a una distancia entre ejes  $> 6a$  se pueden diseñar ignorando la presencia de otras galerías (siendo  $a$  el radio de la excavación mayor), y refiriéndose a excavaciones geometría circular.

En la siguiente figura se presentan sintetizadas las distribuciones de tensiones alrededor de excavaciones de geometrías no circulares, pero habituales en galerías, túneles y cavernas subterráneas. Se presentan los valores de la máxima tensión en hastial (con dirección vertical) y en clave (con dirección horizontal) para distintos valores de  $k$ .



**Figura N° 34:** Influencia de la forma de la excavación y del  $k$  en las máximas tensiones en el contorno de la excavación.

**Fuente:** Investigaciones Científicas.

Algunos de los principales criterios de diseño de excavaciones subterráneas se derivan de considerar la redistribución de tensiones elásticas alrededor de excavaciones de distintas geometrías bajo un estado tensional inicial no isótropo:

- La concentración de tensiones aumenta cuando el radio del contorno disminuye. Por lo tanto, deberían de evitarse las secciones de excavación con esquinas.
- Puesto que las menores tensiones alrededor de la excavación se producen para el mayor radio de curvatura del contorno, la forma

óptima de un túnel bajo un estado tensional isótropo es la sección circular.

- En la medida que la sección deja de ser circular y se alarga en una dirección, las tensiones se reducen en la cara paralela a la dimensión mayor pero se incrementan en las caras paralelas a la dimensión menor.
- Este efecto es más acusado en la medida que el estado tensional se aleja del isótropo, produciéndose un desconfinamiento importante en el techo, llegando incluso a traccionarse, para  $k < 1$ , o en los hastiales para un  $k > 1$ .
- Para un estado tensional alejado del isótropo, desde el punto de vista Tensional lo óptimo es considerar una sección oval, con su dimensión mayor orientada paralela a la dirección principal mayor del estado tensional de partida.

## **2.5.6 Metodología para la estimación de esfuerzos**

### **2.5.6.1 Ensayo Lefranc**

El ensayo se realiza mediante el encamisado de la perforación en suelo hasta la profundidad que se quiera determinar la permeabilidad para luego llenar la camisa de agua limpia y medir el intervalo de tiempo que puede tardar en bajar dos alturas de referencia (nivel variable) o la determinación del caudal de estabilización del nivel (nivel constante).

### **2.5.6.2 Ensayo Lugeon**

Es el ensayo de permeabilidad en rocas permite medir la absorción de un litro de agua por minuto en un metro de longitud de perforación a 10kg/cm<sup>2</sup> de presión manométrica.

Se realiza en tramos no mayores de 5m de longitud y siguiendo el método de avance usando un obturador para la determinación de unidades Lugeon. Se utilizan cinco valores de presión en la perforación con valores de RQD superiores al 70%.

### **2.5.6.3 Hidrofracturamiento**

Ensayo usado para analizar los esfuerzos mínimos de confinamiento de macizos rocosos en construcciones subterráneas para medir la magnitud del esfuerzo principal menor.

Con aplicación especial en proyectos hidroeléctricos para determinar la longitud de revestimiento con blindaje de acero en túneles de conducción.

El ensayo de fractura hidráulica se ejecuta en una perforación, en la cual, con base en los núcleos obtenidos de la perforación, se selecciona una profundidad de ensayo adecuada, y se aísla el sector correspondiente mediante un arreglo de obturadores. En la cámara formada por los obturadores se inyecta agua a presión. Durante el ensayo se realiza la medición de caudal y presión de agua en tiempo real y a intervalos de un segundo. La interpretación del ensayo se lleva a cabo después de observar el instante en el cual la discontinuidad preexistente se abre y se cierra. Durante el proceso, se realizan mínimo tres ciclos de presurización, para permitir la apertura y extensión de la grieta y la estabilización de la presión y el caudal.

#### **2.5.6.4 Overcoring**

Ensayo para la determinación del estado de esfuerzos vírgenes in-situ (tensor de esfuerzos), en cuanto a orientación y magnitud, que permite confirmar hipótesis y diseños para estructuras proyectadas bajo roca.

El ensayo de overcoring (sobreperforación) consiste en determinar los esfuerzos a partir de cambios en el diámetro o deformación de la pared circular de una perforación piloto durante el proceso de sobreperforación. Las propiedades elásticas de la roca y las mediciones de deformación se combinan para calcular los esfuerzos en el plano perpendicular al eje de la perforación. En el caso del método con la celda USBM (U.S. Bureau of mines), se llevan a cabo tres perforaciones en diferentes direcciones, por lo general ortogonales, dependiendo del esquema del nicho ejecutado. Durante el ensayo se realizan lecturas de deformaciones diametrales con la celda USBM en cada perforación y el conjunto de esas lecturas se somete a un análisis de mínimos cuadrados, con el cual, se obtiene el elipsoide de esfuerzos y su correspondiente desviación estándar.

#### **2.5.6.5 Piezocono (CPTU) y piezocono sísmico (SCPTU)**

El ensayo consiste en la penetración de una sonda en el suelo a una tasa constante midiendo la resistencia por punta ( $q_c$ ), fricción ( $f_s$ ) y presión de poros ( $u_2$ ) durante su avance. Con dichos valores es posible obtener correlaciones para estimar parámetros geotécnicos del suelo.

Para el piezocono sísmico se lleva a cabo la medición de propagación de ondas cada metro de avance por medio del ensayo Downhole.

#### 2.5.6.6 Presurómetro de Menard

Ensayo para medir la deformación interna del suelo o rocas blandas al aplicar una determinada presión por medio de un aditamento de caucho inflado con una presión hidráulica.

El ensayo suministra una gráfica de presión contra cambio volumétrico y éste puede convertirse en una curva esfuerzo - deformación. El módulo de deformación también puede ser determinado.

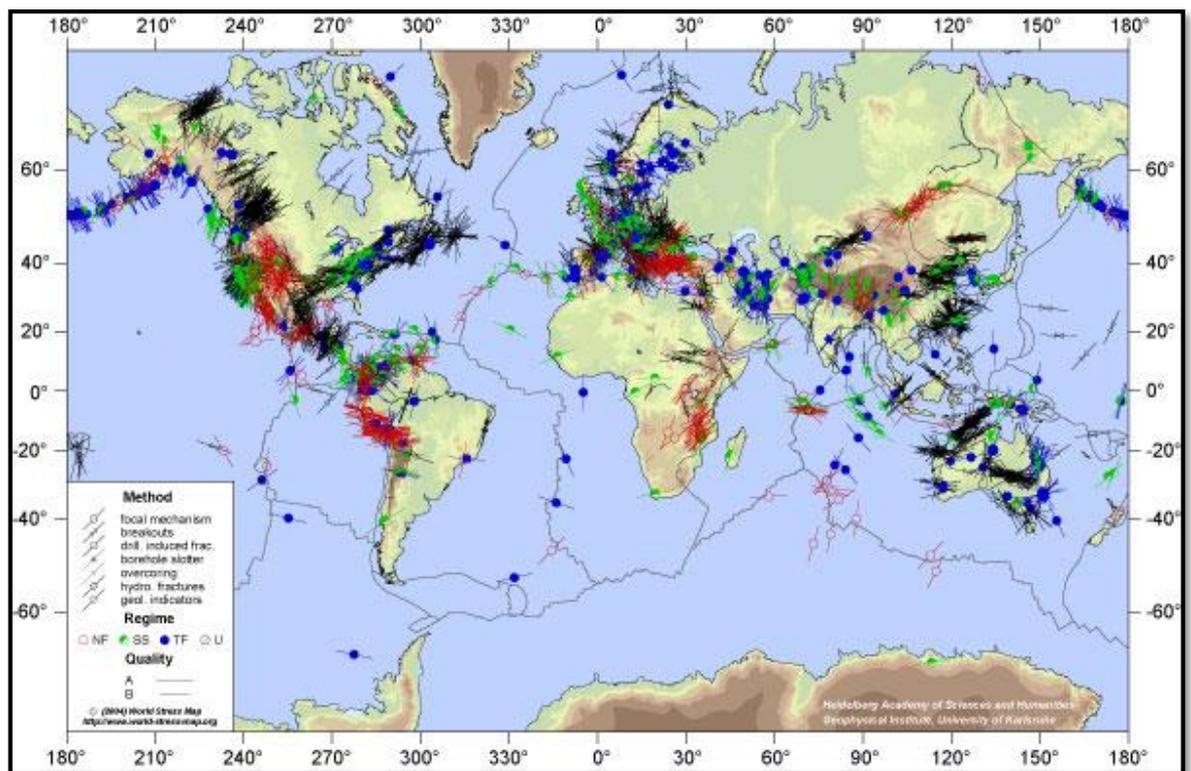


Figura N° 35: Esfuerzos tectónicos.

Fuente: Geology International.

### 2.5.7 Correlaciones entre las clasificaciones geomecánicas

Existen numerosas correlaciones entre las clasificaciones geomecánicas, entre otras las que se presentan a continuación:

- $RMR=9\ln Q+44$  (Bieniawski, 1976, para túneles civiles).
- $RMR=10\ln Q+42$  (Abad, 1983, para galerías en minas de carbón españolas).
- $RMR=13,5\ln Q+43$  (Rutledge, 1978).
- $RMR=15\log Q+50$  (Brady & Brown, 2004).
- $GSI=RMR - 76$  (para macizos rocosos secos y sin considerar la orientación de la excavación).
- $GSI=RMR - 89$  (para macizos rocosos secos y sin considerar la orientación de la excavación).
- $E_m=2 \cdot RMR - 100$  GPa (para  $RMR > 50$ )
- $E_m=10^{(RMR-10)/40}$  (para  $RMR \leq 50$ )
- $c=5 \cdot RMR$  (KPa)
- $\varphi = 5 + \frac{RMR}{2}$  (deg)

### 2.5.8 Criterio de falla de Hoek- and Brown

Hoek y Brown introdujeron su criterio de rotura en un intento de proporcionar los datos de partida para el análisis necesario en el diseño de excavaciones subterráneas en roca competente. El criterio se dedujo a partir de los resultados de las investigaciones de Hoek de roturas frágiles de rocas intactas y de un modelo de estudio del comportamiento de macizos rocosos de Brown. El criterio partía de las propiedades de la roca intacta y entonces se introducían factores reductores de estas propiedades sobre la base de las características de un macizo rocoso diaclasado.

Debido a la ausencia de alternativas, el criterio fue pronto adoptado por la comunidad de la mecánica de rocas y su uso rápidamente extendido más allá de los límites originales utilizados en la deducción de las relaciones de reducción de la resistencia. Consecuentemente, llegó a ser necesario reexaminar estas relaciones e introducir nuevos elementos cada vez que dicho criterio era aplicado a un amplio rango de problemas prácticos. Fruto de estos avances fue la introducción de la idea de macizos rocosos “inalterados” y “alterados” por Hoek y Brown, y la introducción de un criterio modificado para obligar a la resistencia

a tracción del macizo rocoso a tender a cero para macizos de calidad muy mala (Hoek, Wood y Shah). Una de las primeras dificultades que aparecen en muchos problemas geotécnicos, particularmente en el ámbito de la estabilidad de taludes, es que es más conveniente tratar el criterio original de Hoek-Brown en términos de esfuerzos normales y al corte más que en términos de esfuerzos principales, según la ecuación original:

$$\sigma_1' = \sigma_3' + \sigma_{ci} \left( m \frac{\sigma_3'}{\sigma_{ci}} + s \right)^{0.5}$$

Donde:

- **$\sigma_{ci}$**  : Resistencia a la compresión uniaxial del material intacto
- **$\sigma_1'$**  : Esfuerzo principal mayor en la falla
- **$\sigma_3'$**  : Esfuerzo principal menor en la falla.
- **m y s** : Constantes del material, donde s=1 para roca intacta.

Hoek trató la derivación de las resistencias cohesivas y de los ángulos de fricción equivalentes para diferentes situaciones prácticas. Estas deducciones se basaron en las tangentes a la envolvente de Mohr obtenida por Bray. Hoek sugirió que la resistencia cohesiva determinada al ajustar una tangente a la envolvente curvilínea de Mohr es un valor sobredimensionado y puede dar unos resultados optimistas en los cálculos de estabilidad. Consecuentemente, puede ser más apropiado un valor medio determinado al ajustar una relación lineal de Mohr-Coulomb por métodos de mínimos cuadrados. Hoek también introdujo el concepto de criterio de Hoek-Brown Generalizado en el que la forma de la curva de la tensión principal o la envolvente de Mohr podría ajustarse por medio de un coeficiente variable, a, en lugar del término de la raíz cuadrada de la ecuación.

Además de los cambios en las ecuaciones, también se reconoció que el RMR de Bieniawski no era adecuado como vehículo para relacionar el criterio de rotura con las observaciones geológicas en campo, particularmente para macizos rocosos muy débiles. Ello condujo a la introducción del Índice de Resistencia Geológica, GSI (Geological Strength Index) por Hoek, Wood y Shah. (Hoek, 2018)

$$\sigma_1' = \sigma_3' + \sigma_{ci} \left( m_b \frac{\sigma_3'}{\sigma_{ci}} + s \right)^a$$

- $m_b$ : Valor reducido de la constante del material  $m_i$ .
- $s, a$ : Constante que dependen de las características del macizo rocoso ( $s=1$  para la roca intacta)
- $\sigma_{ci}$ : Resistencia a la compresión uniaxial del material intacto
- $\sigma_1$ : Esfuerzo principal mayor en la falla
- $\sigma_3$ : Esfuerzo principal menor en la falla.
- $D$ : Factor que depende del grado de alteración.

Para el material rocoso: ( $m_b = m_i$ ); ( $s = 1$ ); ( $a = 0.5$ ) y el criterio se transforma:

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \sigma_{ci} \sqrt{m_i \frac{\sigma_3}{\sigma_{ci}} + 1}$$

Para el macizo rocoso (cuando  $GSI \geq 25$ ), los parámetros  $m_b$ ,  $s$  y  $a$ , valen:

$$m_b = m_i \exp\left(\frac{GSI - 100}{28}\right) \quad s = \exp\left(\frac{GSI - 100}{9}\right) \quad a = 0.5$$

Para el macizo rocoso (cuando  $GSI < 25$ ), los parámetros  $m_b$ ,  $s$  y  $a$ , valen:

$$m_b = m_i \exp\left(\frac{GSI - 100}{28}\right) \quad s = 0 \text{ y} \quad a = 0.65 - \frac{GSI}{200}$$

Claro está que no todos los problemas están resueltos con la sola adopción del criterio de Hoek-Brown. Queda el problema de la selección del más representativo valor de los parámetros ( $\sigma_{ci}$ ) y ( $m_i$ ) para macizos heterogéneos; el índice geomecánico (GSI) tiene algo de cualitativo y por lo tanto de subjetivo; la determinación en laboratorio del parámetro ( $m_i$ ) es dificultosa: para cada material presente, según Hoek y Brown (1997), se deben realizar por lo menos 5 ensayos triaxiales sobre igual número de muestras del mismo material con presiones de celda entre 0 y el 50% del valor de  $\sigma_{ci}$ .

Finalmente, otra dificultad señalada por los autores del criterio, es la que deriva de la todavía difundida, aunque poco justificada, práctica de emplear el criterio de Mohr-Coulomb y los supuestos parámetros ( $c$  y  $\phi$ ) asociados al macizo

rocoso, como consecuencia de la difusión de software especializado que los utiliza.

Hoek et al, (2002) introdujo el factor D, el cual depende del grado de alteración al cual ha estado sujeto el macizo rocoso por daño de voladura y relajación de esfuerzo. El factor D, varía de 0 para macizos rocosos in situ no disturbados hasta 1 para macizos muy disturbados.

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

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

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

La resistencia a la compresión uniaxial se obtiene haciendo  $\sigma_3=0$ , en la ecuación, dando así:

$$\sigma_c = \sigma_{ci} s^a$$

Siendo la resistencia a tracción:

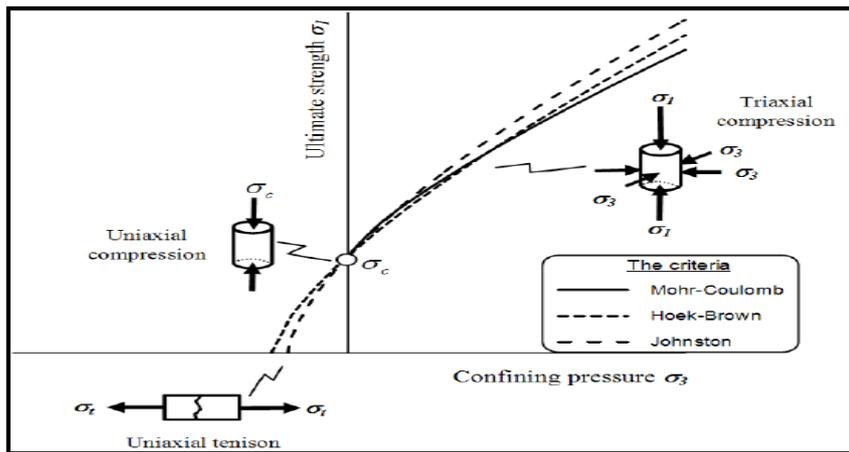
$$\sigma_t = -\frac{s\sigma_{ci}}{m_b}$$

Los esfuerzos normales y al corte están relacionadas con los esfuerzos principales por las ecuaciones publicadas por Balmer:

$$\sigma'_n = \frac{\sigma'_1 + \sigma'_3}{2} - \frac{\sigma'_1 - \sigma'_3}{2} \frac{d\sigma'_1/d\sigma'_3 - 1}{d\sigma'_1/d\sigma'_3 + 1}$$

$$\tau = (\sigma'_1 - \sigma'_3) \frac{\sqrt{d\sigma'_1/d\sigma'_3}}{d\sigma'_1/d\sigma'_3 + 1}$$

$$d\sigma'_1/d\sigma'_3 = 1 + am_b (m_b \sigma'_3 / \sigma_{ci} + s)^{a-1}$$



**Figura N° 36:** Criterio de Mohr Columb, Johnston and Hoek Brown.  
**Fuente:** Investigaciones Científicas.

### 2.5.9 Módulo de deformación

El módulo de deformación de un macizo rocoso es uno de los parámetros más importantes a tener en cuenta a la hora de realizar cualquier diseño geotécnico. La determinación de este módulo constituye un problema teórico y práctico.

A la hora de evaluar la deformabilidad de un macizo rocoso las discontinuidades juegan un papel importante. Esto hace que el factor escala cobre gran importancia. El volumen elemental representativo es, en la gran mayoría de las ocasiones, demasiado grande para poder realizar ensayos de laboratorio que definan correctamente las propiedades del macizo y, por tanto, el único método que proporciona una estimación razonable es el uso de ensayos in situ a gran escala (Deere y Miller, 1966).

La elasticidad es una propiedad de un material ideal y podemos vincularla con los materiales que se utilizan en ingeniería, incluyendo a las rocas en mayor o menor grado y en función de cuanto estos materiales se acercan al ideal. Prácticamente esto depende de tres factores principales: homogeneidad, isotropía y continuidad, cada uno de los cuales pueden ser definidos dentro de ciertos límites.

La isotropía es una medida de las propiedades direccionales de un material. Por ejemplo, con un criterio estadístico, un cuerpo granular será isótropo si todos sus granos tienen una orientación al azar y cuando un plano de dimensiones equivalentes lo intercepta, en cualquier dirección, corta al mismo en un número igual o equivalente de granos.

Dado que muchas rocas tienen una orientación determinada en sus clastos o cristales, estas son estrictamente hablando anisótropas y deberá esperarse que reaccionen en forma diferente a aquellos esfuerzos que provienen de distintas direcciones, dependiendo esto del grado de anisotropía.

La homogeneidad es una medida de la continuidad física de un cuerpo. De esta manera en un material homogéneo, los constituyentes están distribuidos de tal forma que un pequeño fragmento separado de cualquier parte del cuerpo deberá tener constituyentes y propiedades representativas del todo. La homogeneidad depende en gran medida de la escala y podría ser posible describir una roca masiva de grano muy fino como homogénea, mientras que una roca de grano muy grueso dentro de dimensiones limitadas debe ser considerada no homogénea.

La continuidad puede ser considerada como una referencia a la porosidad y/o a la cantidad de diaclasas y fallas en un cuerpo rocoso particular. El grado de continuidad afectará su cohesión y por lo tanto la diferente distribución de tensiones a través de todo el cuerpo.

Los extremos, al considerar la continuidad de una roca, estarán entre una masa rocosa fracturada, la cual es completamente discontinua y un cuerpo rocoso masivo de grano muy fino con un diaclasamiento muy espaciado, con lo cual es prácticamente continuo.

A partir de estas definiciones es posible arribar a una primera estimación de la probable elasticidad de una roca, recordando siempre que con la posible excepción de la obsidiana o de un metal nativo, todas las rocas son en alguna medida anisótropas, no homogéneas y discontinuas y por lo tanto no son perfectamente elásticas. De todas maneras, algunas rocas se pueden aproximar en grado variable a algunas propiedades elásticas, particularmente cuando están sometidas a bajas cargas de deformación.

Obviamente la mayoría de las rocas elásticas deben ser de grano fino, masivo y compacto, una propiedad de las rocas extrusivas (excepto cuando tienen vesículas, que son espacios vacíos visibles) y las rocas filoneanas y algunas rocas metamórficas finamente granudas. Estas rocas (Fig.1a) se aproximan de muchas formas a las propiedades de un material elástico, frágil, que tiene una relación cuasi - lineal entre tensión / deformación hacia el punto de ruptura, por lo cual se las puede denominar rocas cuasi - elástica.

Rocas de menor elasticidad, son las rocas ígneas de grano grueso y sedimentos compactados de grano fino, con baja porosidad y una razonable cohesión, por lo que se las denomina rocas semi-elásticas. Estas tienen una relación tensión / deformación en la cual la pendiente de la curva (equivalente al módulo de elasticidad bajo condiciones de cargas definidas) decrece con el incremento de la tensión. Este tipo de curva, obtenida a partir de ensayos con pequeñas muestras de laboratorio y por lo tanto que acentúan la falta de homogeneidad y la anisotropía del material, pueden de hecho brindar un cuadro exagerado de la falta de elasticidad de este tipo de rocas, la cual a gran escala, como ser un depósito masivo o estrato puede estar sujeto al análisis elástico, con ciertas precauciones. Esto es ilustrativo de uno de los peligros de los ensayos de laboratorio incluso cuando se los asocia con la interpretación estadística, como un método de obtener datos para realizar un análisis a gran escala (grandes dimensiones). (Surcolombiana, 2012)

Los módulos de deformación de macizos rocosos están dados por:

Para  $\sigma_{ci} \leq 100$  MPa.

$$E_m \text{ [GPa]} = \left(1 - \frac{D}{2}\right) \sqrt{\frac{\sigma_{ci}}{100}} 10^{\frac{GSI-10}{40}}$$

Para  $\sigma_{ci} > 100$  MPa

$$E_m \text{ [GPa]} = \left(1 - \frac{D}{2}\right) 10^{\frac{GSI-10}{40}}$$

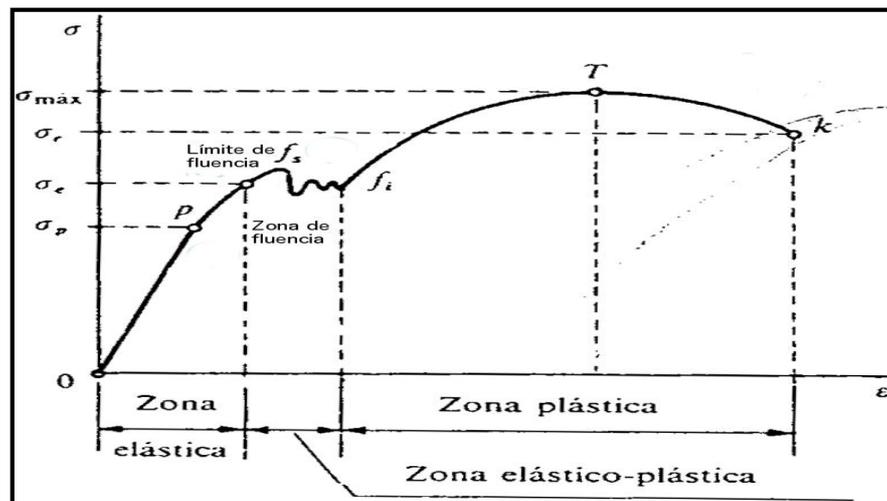


Figura N° 37: Elasto-plástico.

Fuente: Investigaciones Científicas.

### 2.5.10 Criterio de rotura de Mohr-Coulomb

El criterio de rotura de Mohr-Coulomb, introducido por primera vez por Coulomb en el año 1773, inicialmente pensado para el estudio en suelos, es un criterio de rotura lineal. Esto significa, que la ecuación que define la superficie de fluencia es una ecuación lineal.

Aunque el comportamiento de la roca en un ensayo triaxial no concuerda con un modelo lineal, Mohr-Coulomb se sigue utilizando mucho por su sencillez y comodidad.

Dado que muchos softwares geotécnicos están aún escrito en términos del criterio de rotura de Mohr-Coulomb, es necesario determinar los ángulos de fricción y las resistencias cohesivas para cada macizo rocoso e intervalo de esfuerzos. Esto se hace ajustando una relación lineal media a la curva para un intervalo de esfuerzo principal menor definido por  $\sigma_1 < \sigma_2 < \sigma_3$ . El proceso de ajuste supone equilibrar las áreas por encima y por debajo de la curva de Mohr-Coulomb. Esto da lugar a las siguientes ecuaciones para el ángulo de fricción  $\phi$  y la resistencia cohesiva  $c$ .

$$\phi' = \sin^{-1} \left[ \frac{6 a m_b (s + m_b \sigma'_{3n})^{a-1}}{2(1+a)(2+a) + 6 a m_b (s + m_b \sigma'_{3n})^{a-1}} \right]$$

$$c' = \frac{\sigma_{ci} [(1+2a)s + (1-a)m_b \sigma'_{3n}] (s + m_b \sigma'_{3n})^{a-1}}{(1+a)(2+a) \sqrt{1 + \frac{6 a m_b (s + m_b \sigma'_{3n})^{a-1}}{(1+a)(2+a)}}}$$

Generalmente para el caso del criterio de Mohr-Coulomb, se define el criterio de rotura en función de la tensión tangencial y la tensión normal en un plano. En este caso la superficie de fluencia es de la forma  $\tau = f(\sigma)$ . La resistencia al corte de Mohr-Coulomb  $\tau$ , para un esfuerzo normal está dado por la siguiente expresión matemática:

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

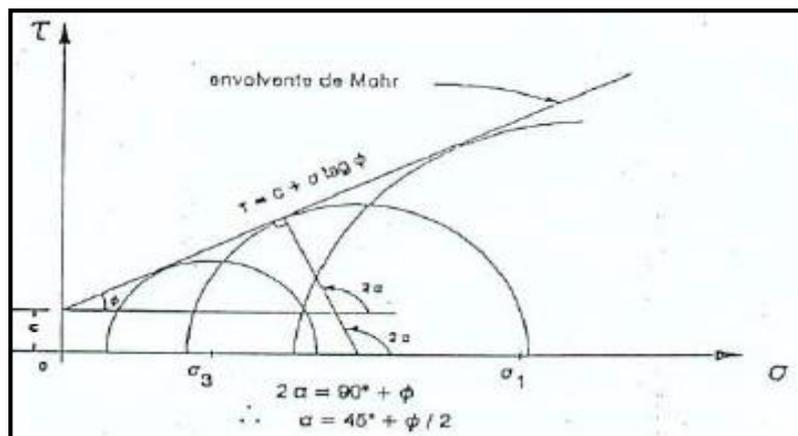
Donde

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

La gráfica equivalente, en términos de esfuerzos principales menores y mayores, está definida por:

$$\sigma_1' = \frac{2c' \cos \phi'}{1 - \sin \phi'} + \frac{1 + \sin \phi'}{1 - \sin \phi'} \sigma_3'$$

Se representa el criterio de Mohr-Coulomb en el espacio de tensiones normal y tangencial. Se puede apreciar que la ecuación de la superficie de rotura es la ecuación de la recta tangente a todos los círculos de falla.



**Figura N° 38:** Representación de la envolvente de Mohr-Coulomb.

**Fuente:** Investigaciones Científicas.

### 2.5.11 Mapeo geomecánico

Es aquel que contiene información geológica- geotécnica de parámetros que afectan al macizo rocoso y que pueden o no generar inestabilidad en las labores mineras.

El mapeo geomecánico contiene la caracterización geotécnica de la roca de acuerdo a la clasificación geomecánica correspondiente, además debe contener información de tipo estructura, información de prospección geomecánica, información de mecánica de rocas, monitoreos, controles, entre otros.

El resultado del mapeo geomecánico debe servir para recomendar un tipo de excavación ideal que no produzca inestabilidad. Sirve, además, para modelar la excavación y diseñar el mnado adecuado.

Finalmente, sirve también para diseñar un sostenimiento adecuado a las condiciones geomecánicas de la roca: necesario, suficiente y oportunidad.

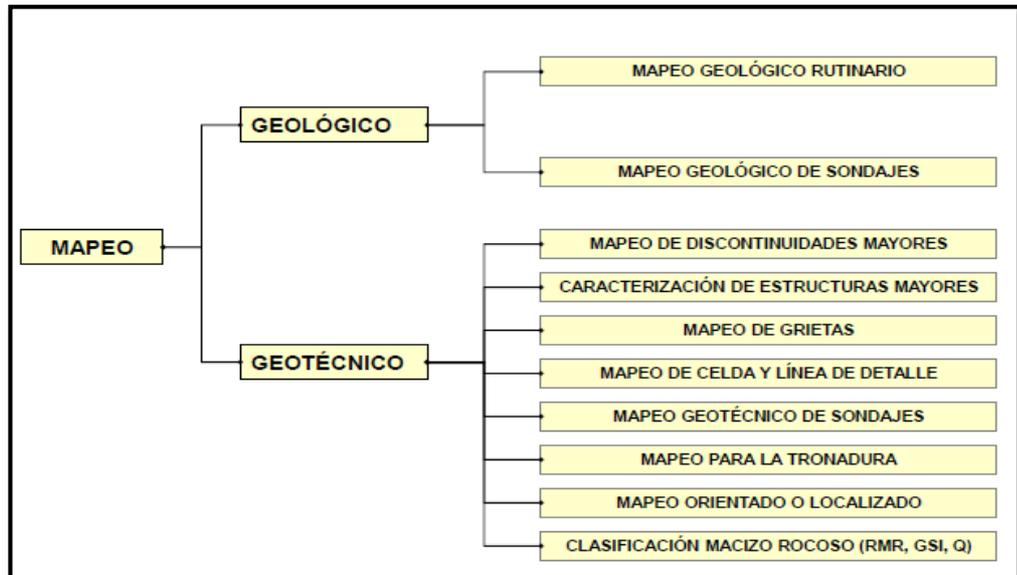


Figura N° 39: Tipos de mapeos.

Fuente: CGI.

### 2.5.12 Terminología básica

**Alteración.** - Proceso de modificación de los minerales y rocas por acción de los agentes de erosión: agua, viento, hielo, sol, etc. sinónimo: intemperismo, meteorización.

**Anclaje mecánico.** - Mecanismo de expansión para anclar en el fondo del taladro, el extremo del perno de roca.

**Anclaje por fricción.** - Es el anclaje proporcionado por la resistencia friccional al deslizamiento, la cual es generada por una fuerza radial contra las paredes del taladro en la longitud completa del perno. El split set y el swellex anclan por fricción.

**Anticlinal.** - Plegamiento de tipo convexo en el cual los estratos buzan en sentido contrario (divergen) a partir de un plano denominado axial.

**Argilización.** - Proceso de transformación de los feldespatos y otros silicatos aluminicos en arcilla. Las rocas argilitizadas, generalmente son muy incompetentes.

**Batolito.** - Estructura maciza de roca ígnea plutónica cuyo afloramiento en la superficie terrestre supera los 100 Km de largo y 20 Km de ancho.

**Bloque.** - Fragmento de roca de dimensiones superiores a 20 cms. de diámetro.

**Bolsonada.** - Cuerpo o masa de mineral de forma más o menos alargada y de dimensiones pequeñas, muchas veces tiene forma irregular.

**Brújula.** - Instrumento que sirve para medir el rumbo y azimut y el buzamiento de las estructuras geológicas.

**Bulbo de resistencia.** - Área de influencia de esfuerzos compresivos que se genera cuando actúa correctamente un perno de roca.

**Buzamiento.** - (dip), término usado para indicar el ángulo de inclinación de las rocas estratificadas o de estructuras geológicas.

**Cizallamiento.** - Es el proceso de fracturamiento de las rocas debido a los esfuerzos tectónicos.

**Cinta extensiométrica.** - Dispositivo mecánico para registrar desplazamientos, muy apropiados para medir las deformaciones del contorno de una excavación subterránea.

**Compactación.** - disminución del espesor o potencia de la secuencia estratigráfica por el peso y la presión de las rocas suprayacente.

**Conglomerado.** - Roca sedimentaria compuesta de cantos rodados cementados en una matriz fina.

**Contacto.** - Contacto litológico, es una línea que separa las rocas de naturaleza diferente o dos unidades litológicas.

**Deformación.** - Modificación que sufre una roca o material por acción de una o más esfuerzos.

**Deformación elástica.** - Cuando una roca se deforma por acción de un esfuerzo, y al cesar dicho esfuerzo la roca o material deformado recupera su forma original.

**Deformación plástica.** - cuando una roca o material se deforma por acción de un esfuerzo y al cesar dicho esfuerzo la roca o material alterado conserva su deformación.

**Desplazamiento.** - Es la distancia recorrida por un bloque rocoso a través de un plano de movimiento.

**Esfuerzo.** - fuerza aplicada sobre un área y/o superficie que tiende a cero.

**Esfuerzo tensional.** - Son aquellos esfuerzos que originan tracción a la roca, pudiendo hacerla fallar.

**Estallido de rocas.** - Fenómeno relacionado a altos esfuerzos en roca competente y frágil. Rotura o falla descontrolada de la roca asociada con una liberación violenta de energía almacenada en la misma. La falla de la roca varía en magnitud, desde la expulsión de bloques rocosos de la superficie de la excavación, hasta el colapso súbito de extensas áreas de minado.

**Estratificación.** - Disposición paralela o sub-paralela que toman las capas de las rocas sedimentarias, durante su sedimentación.

**Estrato.** - Es la roca formada por la sedimentación de fragmentos o partículas provenientes de la desintegración de las rocas pre-existentes.

**Estructura.** - Esta referido a la disposición, arreglo y cohesión de los materiales constituyentes de un determinado cuerpo rocoso.

**Exfoliación.** - Propiedad de las rocas de separarse en forma de láminas, cuando se refiere a minerales es sinónimo de clivaje.

**Falla.** - Desplazamiento de un bloque rocoso con respecto a otro colindante a esta o de ambos bloques, a través de un plano denominado "plano de falla".

**Granulometría.** - Tecnología que se encarga de dictar normas correspondientes para determinar las dimensiones y las formas de los fragmentos de los materiales detríticos.

**Gravedad.** - Es la fuerza de atracción que ejerce la tierra sobre los cuerpos que se ubican en la superficie terrestre.

**Macizo.** - Término usado en geotecnia para referirse a áreas rocosas cuyo núcleo está constituido de rocas ígneas, metamórficas y sedimentarias.

**Macizo rocoso.** - Es el medio in-situ que contiene diferentes tipos de discontinuidades como diaclasas, estratos, fallas y otros rasgos estructurales.

**Medición de convergencia.** - Lectura instrumental para conocer las deformaciones del contorno de la excavación.

**Muestra.** - Pedazo de roca o mineral, de un tamaño y peso adecuado que pueda servir de elemento del cual se pueda obtener toda la información necesaria para realizar un estudio propuesto.

**Plasticidad.** - Propiedad de las rocas de deformarse al recibir un esfuerzo conservando la deformación al cesar el esfuerzo.

**Porosidad.** - Es la relación existente entre el volumen de los intersticios porosos y el volumen total de la roca o suelo. La porosidad se expresa siempre en porcentaje.

**Propilitización.** - Proceso de alteración hidrotermal de la andesita y rocas relacionadas pasando a rocas verdes (propilita).

**Proyección.** - representación gráfica sobre un plano horizontal de las diferentes estructuras geológicas, topográficas o cualquier tipo de estructura, que se ubica encima o debajo de este plano.

**Rasgos estructurales dominantes.** - Familia o sistemas de discontinuidades principales de la masa rocosa. Estas discontinuidades pueden ser diaclasas, estratos, fallas, zonas de corte, etc.

**Roca circundante.** - Masa rocosa que rodea una excavación.

**Roca intacta.** - Porción de roca que no tiene fracturas, es la roca que se encuentra entre las fracturas.

**Roca encajonante.** - Es la roca que contiene un depósito mineral, llamado también cajas o roca huésped.

**Rumbo.** - Dirección que sigue la línea de intersección formada entre el plano horizontal y el plano del estrato o estructura geológica, con respecto al norte o al sur.

**Sericitización.** - Metamorfismo generalmente con intervención de soluciones hidrotermales, mediante el cual los minerales de las rocas se transforman en sericita.

**Sistema o familia de discontinuidades.** - Es el conjunto de fracturas que tienen similar orientación y similares características geomecánicas.

**Stock.** - Estructura geológica masiva de material magmático, cuyo afloramiento en la superficie abarca extensiones mayores de 10 Km y menores de 100 Km.

**Straps.** - Cintas metálicas usadas como complemento del sostenimiento con pernos de roca.

**Zonificación geomecánica.** - Proceso de delimitación de zonas en donde la masa rocosa tiene condiciones geomecánicas similares y por lo tanto también comportamiento similar.

## **CAPITULO III**

### **METODOLOGÍA**

#### **3.1 Método, tipo y nivel de la investigación**

##### **1.1.1 Método de la investigación**

Se desarrolló una investigación aplicada a un nivel descriptivo. El método desarrollado es inductivo-deductivo, ya que se tendrá que partir de leyes y principios geomecánicos, para analizar e interpretar.

##### **1.1.2 Alcances de la investigación**

###### **A. Tipo de investigación**

De acuerdo a los diversos criterios de investigación, es considerada de tipo aplicada. La investigación hace uso y aplicación de los conocimientos y teorías que ya se han desarrollado en las investigaciones básicas. Se fundamenta en las ciencias básicas, como geología, geomecánica, economía, ingeniería y seguridad.

###### **B. Nivel**

El nivel de la investigación que se desarrolla es de tipo descriptivo.

#### **3.2 Diseño de la investigación**

La investigación tiene un tipo de diseño experimental.

#### **3.3 Población y muestra**

##### **3.3.1 Población**

La población estará constituida por la Unidad San Andrés perteneciente a Minera Aurífera Retamas S.A., el cual consta de 6 zonas en operación, las cuales son: Las Chilcas, Chilcas Bajo, Valeria I, Valeria II, Valeria III, Valeria IV.

### **3.3.2 Muestra**

Se realizó un muestreo no probabilístico, intencionado y por conveniencia. La muestra está conformada por la Zona de Valeria IV (Profundización).

## **3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

### **3.4.1 Técnicas utilizadas en la recolección de datos**

El estudio combinó investigaciones de campo, pruebas de laboratorio y trabajos de gabinete, utilizando técnicas adecuadas, seleccionadas entre las alternativas disponibles.

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

- Revisión y análisis de los informes de geología, planeamiento, mina, ingeniería y seguridad.
- Reconocimiento geológico-geomorfológico de la zona.
- Mapeo geomecánico de la masa rocosa de las labores subterráneas.
- Logueo geotécnico de testigos de sondajes diamantinos.
- Ensayos in-situ y toma de muestras rocosas para ensayos de laboratorio.
- Recopilación de información adicional (planos, informes, planes de minado, etc.).

#### **Pruebas de laboratorio**

- Ensayos de propiedades físicas.
- Carga puntual.
- Compresión triaxial.
- Corte directo (superficies de discontinuidad)

#### **Trabajos de gabinete**

- Procesamiento y análisis de la información registrada en el campo.
- Evaluación de las propiedades físicas y de resistencia de la roca.
- Clasificación geomecánica de la masa rocosa.
- Zonificación geomecánica de la masa rocosa del yacimiento.
- Evaluación de los factores complementarios de influencia sobre las condiciones de estabilidad de las excavaciones subterráneas: agua y esfuerzos.
- Preparación de la información geomecánica para los análisis de diseño.

- Evaluación de las condiciones de estabilidad de la masa rocosa asociada a las excavaciones subterráneas involucradas con la profundización.

#### **3.4.2 Instrumentos utilizados en la recolección de datos**

Los instrumentos para la recolección de datos son: Una libreta de apuntes, fichas de registros de instrumentación, tablas, ábacos, utilización de software y bibliografías.

## CAPITULO IV

### ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

#### 4.1 Caracterización de la masa rocosa

El registro de la información se efectuó a partir del mapeo geomecánico del macizo rocoso por el método de celdas de detalle expuesta en las labores de profundización, comprendida entre los Niveles 2370 y 2320. Por otro lado, se ha realizado el logueo geotécnico de testigos rocosos de los sondajes diamantinos convencionales realizados por el Departamento de Geología como parte de la exploración de la Veta Daniela en profundidad.

Los parámetros de observación y medición fueron obtenidos en formatos de registro diseñado para este propósito, adecuándolos a las normas sugeridas por la Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas – ISRM (International Society for Rock Mechanics).

##### 4.1.1. Aspectos Geológicos:

Los dominios litológicos que rodean los niveles de profundización, viene a estar delimitados por 4 tipos de litología bien definidas y con características propias, como la Diorita, Pórfido Granítico, Tonalita y Granito. Así mismo, en cuanto al aspecto estructural, se tienen estructuras geológicas mayores (fallas) en dirección NW - SE, tales como: La Falla Chilcas, Falla Los Loros y los ramales. Dicha información se muestra en el plano lito-estructural y las secciones geológicas de acuerdo a los Cortes.

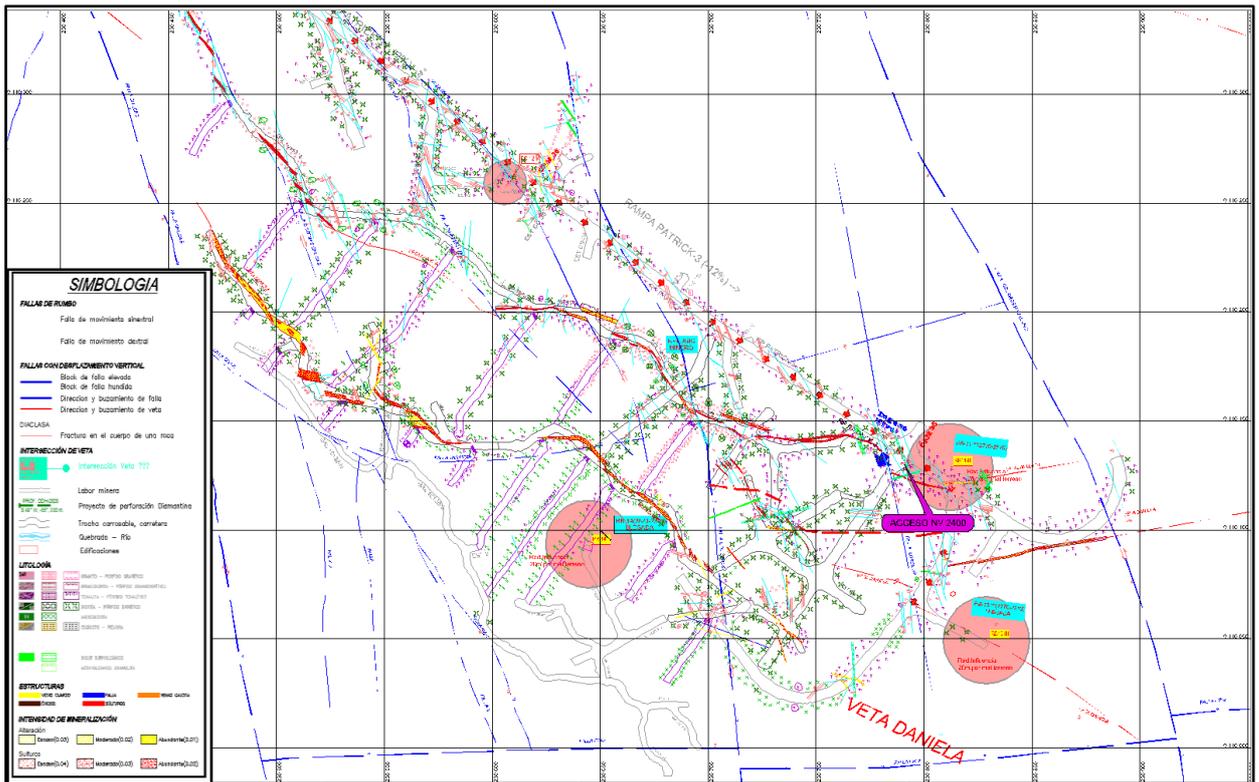


Figura N° 40: Plano Lito-Estructural Nv. 2320.  
 Fuente: Departamento de Geología Marsa.

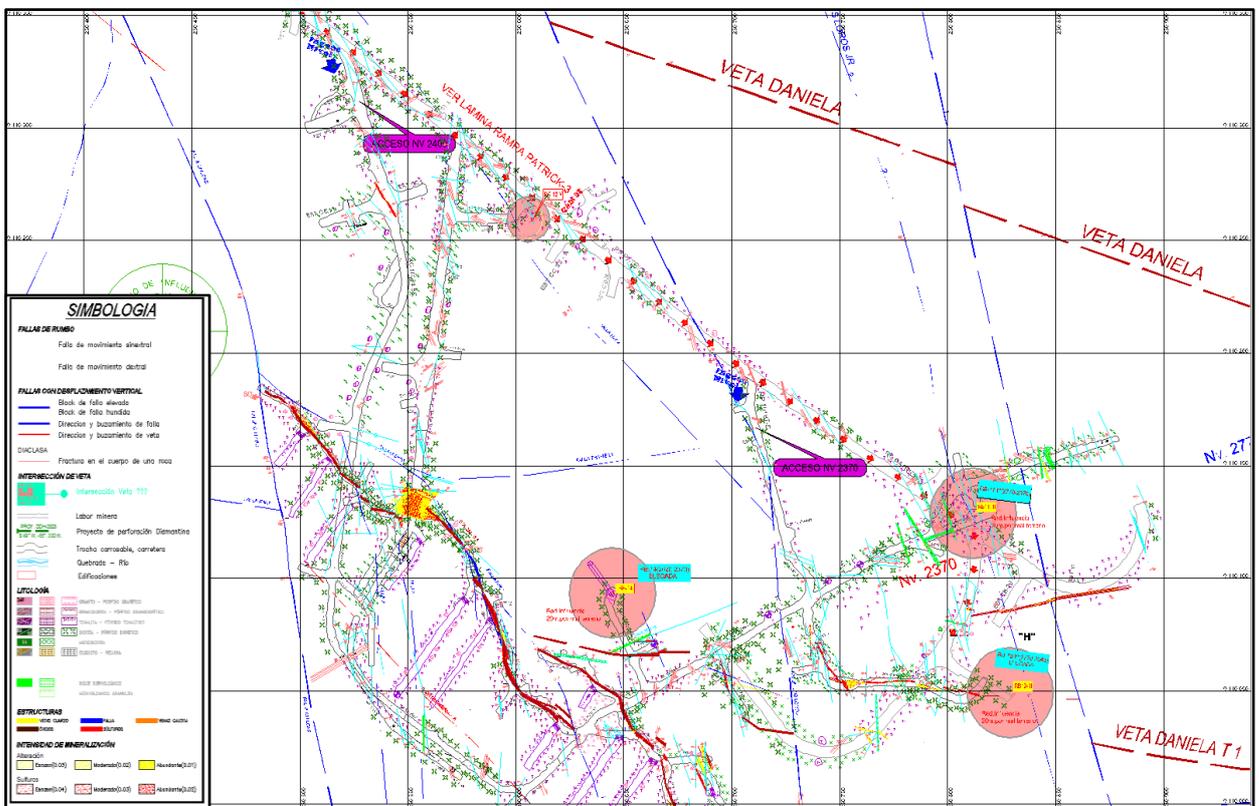
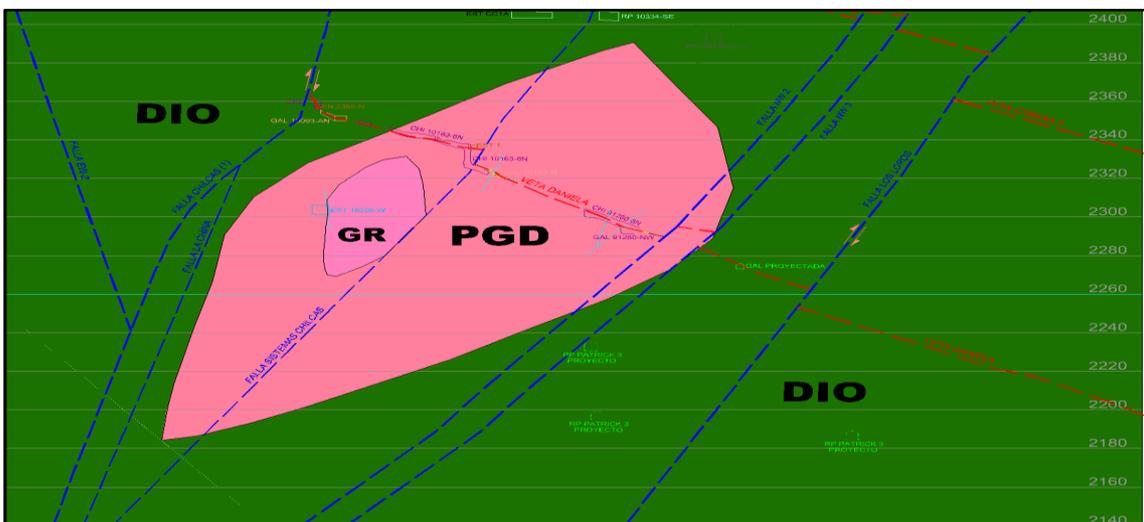


Figura N° 41: Plano Lito-Estructural Nv. 2370.  
 Fuente: Departamento de Geología Marsa.





**Figura N° 45:** Plano Geológico Sección Longitudinal D-D.  
**Fuente:** Departamento de Geología Marsa.



**Figura N° 46:** Plano Geológico Sección Longitudinal E-E.  
**Fuente:** Departamento de Geología Marsa.



**Figura N° 47:** Plano Geológico Sección Longitudinal F-F.  
**Fuente:** Departamento de Geología Marsa.

#### **4.1.2. Mapeo Geomecanico**

El mapeo Geomecánico de labores fue realizados mediante el “método directo de celdas de detalle” con el formato estandarizado por la empresa y cumpliendo las normas establecidas por la Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas (ISRM). Con la información obtenida se zonifico los Planos Geomecánicos, detallando el tipo de roca en el que se ubican los niveles de profundización.

En el siguiente cuadro se presenta el resumen de 710 mapeos geomecánicos.

Tabla N° 03: Registro del Mapeo Geomecanico de Labores Nv. 2370-2320.

ITEM	NIVEL	LABOR	CONDICIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES					Agua Subterránea	Orientación Discontinuidades	RMR BASICO	TIPO DE ROCA BASICO	RMR AJUSTADO	TIPO DE ROCA AJUSTADO			
			Resistencia a la Compresión	RQD	Espaciamento entre Discontinuidad	Persistencia	Apertura							Rugosidad	Relleno	Alteración
It	Niv	Labor	Res	RQD	Esp	Per	Ape	Rug	Rel	Alt	Agu	Ori	Val	Tipo	Val	Tipo
31	2370	GAL 10138-S (RP 10293-SW (RP))	7	8	8	2	2	2	1	2	10	10	42	III-B	31	IV-A
32	2370	GAL 10138-S (RP 10293-SW (RP))	7	8	8	2	1	2	1	2	10	10	41	III-B	31	IV-A
33	2370	GAL 10138-S (RP 10293-SW (RP))	7	8	8	2	1	2	1	2	10	10	41	III-B	31	IV-A
34	2370	GAL 10138-S (RP 10293-SW (RP))	7	8	8	2	2	2	1	2	10	10	42	III-B	32	IV-A
35	2370	GAL 10138-S (RP 10293-SW (RP))	7	8	8	1	3	2	1	2	10	10	42	III-B	32	IV-A
37	2370	GAL 10138-S (RP 10293-SW (RP))	4	8	10	8	1	3	2	2	10	10	48	III-B	38	IV-A
38	2370	GAL 10138-S (RP 10293-SW (RP))	7	8	8	1	3	2	1	2	10	10	42	III-B	32	IV-A
46	2370	GAL 10138-N (RP 10293-SW (RP))	7	8	8	2	1	2	2	2	10	10	42	III-B	32	IV-A
49	2370	GAL 10138-N (RP 10293-SW (RP))	7	8	8	2	1	2	2	2	10	10	42	III-B	32	IV-A
50	2370	GAL 10138-S (RP 10293-SW (RP))	7	8	8	1	3	2	1	2	10	10	42	III-B	32	IV-A
53	2370	GAL 10138-S (RP 10293-SW (RP))	7	8	8	1	3	2	1	2	10	10	42	III-B	32	IV-A
57	2370	GAL 10138-S (RP 10293-SW (RP))	7	13	8	2	1	2	1	3	15	12	52	III-A	40	IV-A
58	2370	GAL 10138-S (RP 10293-SW (RP))	7	13	8	2	1	2	1	3	15	12	52	III-A	40	IV-A
59	2370	GAL 10138-S (RP 10293-SW (RP))	7	13	8	2	1	2	1	3	15	12	52	III-A	40	IV-A
60	2370	GAL 10138-S (RP 10293-SW (RP))	4	5	7	2	1	2	2	3	15	10	41	III-B	31	IV-A
61	2370	GAL 10138-S (RP 10293-SW (RP))	4	5	7	2	1	2	2	3	15	10	41	III-B	31	IV-A
62	2370	GAL 10138-S (RP 10293-SW (RP))	4	6	8	2	2	3	2	3	15	10	45	III-B	35	IV-A
63	2370	GAL 10138-S (RP 10293-SW (RP))	4	6	8	2	2	3	2	3	15	10	45	III-B	35	IV-A
74	2370	GAL 10138-S (RP 10293-SW (RP))	4	8	8	2	1	3	2	3	10	10	41	III-B	31	IV-A
75	2370	GAL 10138-S (RP 10293-SW (RP))	4	8	8	2	1	3	2	3	10	10	41	III-B	31	IV-A
76	2370	GAL 10138-S (RP 10293-SW (RP))	4	8	8	2	2	3	2	3	10	10	42	III-B	32	IV-A
77	2370	GAL 10138-S (RP 10293-SW (RP))	4	8	8	2	2	3	2	3	10	10	42	III-B	32	IV-A
82	2370	GAL 10138-S (RP 10293-SW (RP))	4	13	8	3	1	2	1	2	15	10	49	III-B	39	IV-A
83	2370	GAL 10138-S (RP 10293-SW (RP))	4	13	8	3	1	2	1	2	15	10	49	III-B	39	IV-A
84	2370	GAL 10138-S (RP 10293-SW (RP))	4	13	8	3	1	2	1	2	15	10	49	III-B	39	IV-A
100	2370	GAL 10138-S (RP 10293-SW (RP))	7	8	8	1	2	2	2	2	10	10	42	III-B	32	IV-A
101	2370	GAL 10138-S (RP 10293-SW (RP))	7	8	8	1	2	2	2	2	10	10	42	III-B	32	IV-A
102	2370	GAL 10138-S (RP 10293-SW (RP))	7	8	8	1	2	2	2	2	10	10	42	III-B	32	IV-A
129	2370	GAL 10138-N (RP 10293-SW (RP))	5	10	8	2	2	2	2	1	12	12	44	III-B	32	IV-A
130	2370	GAL 10138-N (RP 10293-SW (RP))	5	10	8	2	2	2	2	1	12	12	44	III-B	32	IV-A
136	2370	GAL 10138-S (RP 10293-SW (RP))	6	10	8	2	1	2	1	1	10	10	41	III-B	31	IV-A
156	2370	GAL 10138-AN (XC 10089-SW (RP-S))	4	8	8	1	4	2	2	3	10	10	42	III-B	32	IV-A
163	2370	GAL 10138-S (RP 10293-SW (RP))	4	10	10	2	1	1	1	2	10	10	41	III-B	31	IV-A
165	2370	GAL 10138-S (RP 10293-SW (RP))	4	10	10	2	1	1	1	2	10	10	41	III-B	31	IV-A
167	2370	GAL 10138-S (RP 10293-SW (RP))	7	9	9	2	1	1	1	1	10	10	41	III-B	31	IV-A
168	2370	GAL 10138-S (RP 10293-SW (RP))	7	9	9	2	1	1	1	2	10	10	42	III-B	32	IV-A
170	2370	GAL 10138-S (RP 10293-SW (RP))	4	10	10	2	1	2	1	2	10	10	42	III-B	32	IV-A
171	2370	GAL 10138-S (RP 10293-SW (RP))	5	10	9	2	1	1	2	1	10	10	41	III-B	31	IV-A
230	2370	BP 10031-NW (GAL 10138-S (RP))	4	10	10	4	2	2	1	2	10	10	45	III-B	35	IV-A
231	2370	BP 10031-NW (GAL 10138-S (RP))	4	10	8	4	2	1	2	1	10	10	42	III-B	32	IV-A
232	2370	BP 10031-NW (GAL 10138-S (RP))	8	10	10	4	2	1	1	1	10	10	47	III-B	37	IV-A
242	2370	BP 10031-NW (GAL 10138-S (RP))	7	8	8	2	3	3	2	3	10	10	46	III-B	36	IV-A
244	2370	BP 10031-NW (GAL 10138-S (RP))	7	9	8	3	3	3	3	4	10	10	50	III-B	40	IV-A
259	2370	BP 10031-NE (EST 2(BP 10031NW))	4	3	8	2	4	3	4	1	7	5	36	IV-A	31	IV-A
260	2370	BP 10031-NE (EST 2(BP 10031NW))	4	3	8	2	4	3	4	1	7	5	36	IV-A	31	IV-A
283	2370	BP 10098-S (XC 10334-SE (RP))	7	8	8	1	1	3	1	5	10	5	44	III-B	39	IV-A
284	2370	BP 10098-S (XC 10334-SE (RP))	7	8	8	1	1	3	1	5	10	5	44	III-B	39	IV-A
285	2370	BP 10098-S (XC 10334-SE (RP))	7	8	8	1	1	3	1	5	10	5	44	III-B	39	IV-A
345	2370	XC 10150-N (XC 10121-NE (BP))	4	3	5	2	1	3	1	5	15	5	39	IV-A	34	IV-A
346	2370	XC 10150-N (XC 10121-NE (BP))	4	3	5	2	1	3	1	5	15	5	39	IV-A	34	IV-A
415	2320	XC 10064-SW (GAL 10056-N (XC))	7	10	8	2	3	3	2	1	10	8	46	III-B	38	IV-A
416	2320	XC 10064-SW (GAL 10056-N (XC))	7	10	8	2	2	3	2	1	10	8	45	III-B	37	IV-A
417	2320	XC 10064-SW (GAL 10056-N (XC))	7	10	8	2	3	3	2	1	10	8	46	III-B	38	IV-A
426	2320	GAL 10093-N (XC 10066-NW (XC))	6	8	8	4	2	2	1	3	10	10	44	III-B	34	IV-A
427	2320	GAL 10093-N (XC 10066-NW (XC))	6	10	8	4	2	2	2	2	10	10	46	III-B	36	IV-A
428	2320	GAL 10093-N (XC 10066-NW (XC))	6	10	8	4	2	3	2	3	10	10	48	III-B	38	IV-A
429	2320	GAL 10093-N (XC 10066-NW (XC))	6	10	8	4	2	2	2	3	10	10	47	III-B	37	IV-A
434	2320	GAL 10093-N (XC 10066-NW (XC))	6	8	7	2	3	3	2	3	10	10	44	III-B	34	IV-A
435	2320	GAL 10093-N (XC 10066-NW (XC))	7	8	7	2	3	3	2	3	10	9	45	III-B	36	IV-A
436	2320	GAL 10093-N (XC 10066-NW (XC))	7	8	7	3	4	3	2	3	10	8	47	III-B	39	IV-A
440	2320	GAL 10093-N (XC 10066-NW (XC))	4	10	8	4	1	1	1	2	10	10	41	III-B	31	IV-A
441	2320	GAL 10093-N (XC 10066-NW (XC))	4	8	8	4	1	1	1	1	10	5	38	IV-A	33	IV-A
442	2320	GAL 10093-N (XC 10066-NW (XC))	5	8	8	4	1	1	1	2	10	8	40	IV-A	32	IV-A
470	2320	GAL 10093-N (XC 10066-NW (XC))	5	7	8	2	2	3	2	3	10	9	42	III-B	33	IV-A
471	2320	GAL 10093-N (XC 10066-NW (XC))	4	6	8	2	3	3	2	3	10	8	41	III-B	33	IV-A
514	2320	GAL 10163-N (BP 10203-W)	4	8	5	4	4	5	2	5	7	12	44	III-B	32	IV-A
515	2320	GAL 10163-N (BP 10203-W)	4	8	5	4	4	5	2	5	7	12	44	III-B	32	IV-A
545	2320	GAL 10163-N (BP 10203-W)	4	8	5	4	4	5	2	5	7	12	44	III-B	32	IV-A
546	2320	GAL 10163-N (BP 10203-W)	4	8	5	4	4	5	2	5	7	12	44	III-B	32	IV-A
685	2320	GAL 10163-S (XC 10133-NE (RPPA))	7	8	5	2	1	1	1	3	15	12	43	III-B	31	IV-A

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla N° 04: Caracterización Geomecánica Nv. 2320.

DESCRIPCION DEL MACIZO ROCOSO															
Estacion Geotecnica:			EG-01												
Fecha:	10/03/18	Labor	GAL 10163-N		C Lab:	28584	Zona:	VALERIA IV		Nivel:	2320		Norte:	9110233.628	
Resistencia:	87 Mpa.		Efecto voladura:		0.4								Este:	230611.732	
													Cota:	2322.358	
N°	Dip	Ddir	Litologia	Espac cm	Persist m	Rug < esc	Rug > esc	Tipo Relleno	Resist. Relleno	Apertura Relleno (mm)	Alteración	T/C	Humedad	Observaciones	Set
1	83	340	DIORITA	90	3	3	Ond/Rugoso	Si	R2	1	Ligeramente	Di	Humedo		
2	87	335	DIORITA	60	2.5	3	Ond/Liso	Si	R3	2	Ligeramente	Di	Humedo		3
3	62	212	DIORITA	70	3	3	Ond/Liso	Si	R4	1	Ligeramente	Di	Humedo		
4	69	227	DIORITA	70	0.5	6	Ond/Liso	Si	R4	1	Ligeramente	Di	Humedo		
5	84	235	DIORITA	30	1.5	5	Ond/Liso	Arc	S3	1	Ligeramente	Di	Humedo		1
6	73	64	DIORITA	46	3	2	Ond/Liso	Pz	S2	1	Ligeramente	Di	Humedo		
7	87	229	DIORITA	60	2.3	5	Ond/Liso	Arc	S3	1	Ligeramente	Di	Humedo		1
8	87	165	DIORITA	30	0.55	3	Ond/Liso	Arc	S3	1	Moderadamente	Di	Seco		2
9	52	62	DIORITA	60	3.5	3	Esc/Liso	Arc	S3	1	Moderadamente	Di	Seco		
10	85	53	DIORITA	60	0.65	3	Esc/Liso	Arc	S3	2	Ligeramente	Di	Seco		
11	88	52	DIORITA	40	1.05	1	Esc/Liso	Arc	S3	1	Moderadamente	Di	Seco		
12	88	54	DIORITA	45	0.8	5	Esc/Liso	Arc	S3	1	Ligeramente	Di	Seco		
13	89	56	DIORITA	30	0.52	3	Esc/Liso	Si	R2	1	Ligeramente	Di	Seco		
14	89	41	DIORITA	35	1	3	Esc/Liso	Arc	S3	1	Ligeramente	Di	Seco		
15	74	286	DIORITA	20	2	5	Esc/Liso	Arc	S3	1	Ligeramente	Di	Humedo		
16	85	235	DIORITA	25	1	5	Esc/Liso	Arc	S3	1	Moderadamente	Di	Seco		1
17	83	282	P TONALITICO	30	3	3	Esc/Liso	Arc	S3	1	Ligeramente	Di	Seco		
18	53	324	P TONALITICO	70	0.2	3	Esc/Liso	Arc	S3	1	Ligeramente	Di	Seco		
19	85	270	P TONALITICO	70	0.5	5	Esc/Liso	Arc	S3	1	Ligeramente	Di	Seco		
20	57	304	P TONALITICO	40	0.8	7	Esc/Liso	Arc	S3	1	Ligeramente	Di	Humedo		
21	74	110	P TONALITICO	40	2.8	3	Ond/Pulido	Arc	S3	1	Ligeramente	Di	Seco		
22	88	236	P TONALITICO	14	3	5	Ond/Rugoso	Si	R2	1	Ligeramente	Di	Seco		1
23	88	341	P TONALITICO	10	2	5	Ond/Rugoso	Si	R2	1	Ligeramente	Di	Seco		3
24	89	240	P TONALITICO	10	0.5	5	Ond/Rugoso	Si	R2	1	Ligeramente	Di	Seco		1
25	22	55	P TONALITICO	10	1	9	Ond/Rugoso	Si	R2	1	Ligeramente	Di	Seco		
26	85	246	P TONALITICO	40	0.9	5	Ond/Liso	Arc	S3	1	Ligeramente	Di	Seco		
27	88	80	P TONALITICO	20	0.5	5	Ond/Liso	Arc	S3	1	Ligeramente	Di	Seco		
28	62	110	P TONALITICO	40	0.4	3	Ond/Liso	Arc	S3	1	Moderadamente	Di	Seco		
29	79	152	P TONALITICO	-	10	1	Ond/Liso	Arc	S4	100	Moderadamente	Fa	Seco	Falla	
30	75	235	P TONALITICO	-	3	1	Ond/Liso	Arc	S5	30	Moderadamente	Fa	Seco	Falla	1
31	75	346	P TONALITICO	-	3	5	Ond/Liso	Arc	S6	150	Ligeramente	Fa	Seco	Falla	
32	82	234	P TONALITICO	35	2	5	Ond/Liso	Si	R2	2	Ligeramente	Di	Seco		1
33	84	165	P TONALITICO	20	2	1	Ond/Liso	Si	R2	1	Ligeramente	Di	Seco		2
34	89	161	P TONALITICO	-	1	1	Ond/Liso	Si	R2	1	Ligeramente	Di	Seco		2
35	62	229	P TONALITICO	40	1.5	3	Ond/Liso	Arc	S3	1	Ligeramente	Di	Seco		
36	66	248	P TONALITICO	40	1.5	5	Ond/Liso	Arc	S3	1	Ligeramente	Di	Seco		
37	73	245	P TONALITICO	40	0.5	3	Ond/Liso	Arc	S3	1	Moderadamente	Di	Seco		
38	78	235	P TONALITICO	40	2	5	Ond/Liso	Arc	S3	1	Moderadamente	Di	Seco		1
39	81	300	P TONALITICO	100	1	3	Ond/Rugoso	Arc	S3	1	Moderadamente	Di	Humedo		
40	78	227	P TONALITICO	40	1	3	Ond/Pulido	Arc	S3	1	Moderadamente	Di	Seco		1
41	69	159	P TONALITICO	50	1	5	Ond/Liso	Arc	S3	1	Moderadamente	Di	Seco		
42	73	230	P TONALITICO	40	3.4	3	Ond/Pulido	Si	R2	1	Ligeramente	Di	Seco		
43	67	317	P TONALITICO	50	2	3	Ond/Pulido	Si	R2	1	Moderadamente	Di	Seco		
44	61	8	P TONALITICO	40	2.5	3	Ond/Pulido	Si	R2	1	Moderadamente	Di	Seco		
45	81	100	P TONALITICO	100	1.5	2	Plan/Rugoso	Si	R2	1	Ligeramente	Di	Seco		
46	76	171	P TONALITICO	40	1	4	Esc/Pulido	Arc	S3	1	Ligeramente	Di	Seco		
47	60	238	P TONALITICO	90	1	4	Esc/Pulido	Arc	S3	1	Moderadamente	Di	Seco		
48	85	100	P TONALITICO	30	2	2	Plan/Liso	Arc	S3	1	Moderadamente	Di	Seco		
49	70	345	P TONALITICO	90	3.5	2	Plan/Liso	Arc	S3	1	Moderadamente	Di	Seco		
50	40	245	P TONALITICO	-		2	Plan/Liso	Arc	S3	1	Moderadamente	Fa	Seco	Falla	

Martillo Schmidt (realizar 20 mediciones)

Indice de rebote (mat 1) 4.4 / 4.2 / 3.8 / 4.0 / 4.5 / 4.0 / 4.3 / 4.1 / 4.0 / 4.1 / 3.4 / 3.5 / 3.7 / 3.2 / 3.8 / 2.7 / 4.3 / 3.6 / 3.8 / 4.2

Indice de rebote (mat 2) 3.8 / 2.5 / 3.4 / 3.1 / 4.0 / 3.1 / 2.4 / 3.0 / 3.5 / 3.3 / 3.1 / 3.4 / 3.1 / 4.0 / 3.1 / 2.4 / 3.0 / 3.4 / 3.0 / 2.4

Orientacion del equipo:

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla N° 05: Caracterización Geomecánica RP Patrick 3.

DESCRIPCION DEL MACIZO ROCOSO

Estacion Geotecnica: EG-03 Norte: 9,110,062.131  
 Fecha: 23/03/18 Labor RANPA PATRICK 3 C Lab: 29071 Zona: VALERIA IV Este: 230,752.990  
 Resistencia: 85 Mpa. Efecto voladura: 0.4 Cota: 2,269.695

N°	Dip	Ddir	Litologia	Espac cm	Persist m	Rug < esc	Rug > esc	Tipo Relleno	Resist. Relleno	Apertura Relleno (mm)	Alteración	T/C	Humedad	Observaciones	Set
1	58	212	DIORITA	90	1.2	2	Ond/Liso	Arc	S2	0.5	Ligeramente	Di	Seco		
2	83	130	DIORITA	50	1	2	Ond/Liso	Arc	S2	0.5	Ligeramente	Di	Seco		
3	67	333	DIORITA	20	1.5	3	Esc/Pulido	Arc	S2	0.5	Ligeramente	Di	Seco		
4	88	206	DIORITA	20	1.1	3	Esc/Pulido	Arc	S2	0.5	Ligeramente	Di	Seco		
5	89	205	DIORITA	15	0.9	3	Esc/Pulido	Arc	S2	0.5	Ligeramente	Di	Seco		
6	46	293	DIORITA	10	0.9	3	Esc/Pulido	Arc	S2	0.5	Ligeramente	Di	Seco		
7	44	93	DIORITA	15	1	3	Esc/Pulido	Arc	S2	1	Ligeramente	Di	Seco		1
8	76	15	DIORITA	15	1	3	Esc/Pulido	Arc	S2	1	Ligeramente	Di	Seco		3
9	74	13	DIORITA	15	1.1	2	Esc/Pulido	Arc	S2	1	Ligeramente	Di	Humedo		3
10	73	275	DIORITA	20	1.1	3	Esc/Pulido	Arc	S2	0.5	Ligeramente	Di	Seco		
11	78	171	DIORITA	20	0.5	3	Esc/Pulido	Arc	S2	0.5	Ligeramente	Di	Seco		
12	72	15	DIORITA	12	0.56	2	Esc/Pulido	Arc	S2	0.5	Ligeramente	Di	Seco		3
13	86	16	DIORITA	11	0.9	3	Esc/Pulido	Arc	S2	0.5	Ligeramente	Fa	Humedo	falla	3
14	88	20	DIORITA	7	0.4	3	Esc/Pulido	Arc	S2	0.5	Ligeramente	Di	Humedo		3
15	74	287	DIORITA	12	0.73	3	Esc/Liso	Arc	S2	0.5	Ligeramente	Di	Seco		
16	81	202	DIORITA	14	0.83	3	Esc/Liso	Arc	S2	0.5	No meteorizada	Di	Seco		
17	87	355	DIORITA	17	0.58	3	Ond/Rugoso	Arc	S2	0.5	No meteorizada	Di	Seco		3
18	85	186	DIORITA	36	0.58	3	Ond/Rugoso	Arc	S2	0.5	No meteorizada	Di	Seco		
19	83	116	DIORITA	47	0.95	4	Ond/Rugoso	Arc	S2	0.5	No meteorizada	Di	Seco		2
20	65	204	DIORITA	34	0.65	3	Esc/Liso	Arc	S2	0.5	No meteorizada	Di	Seco		
21	81	165	DIORITA	14	0.95	2	Plan/Rugoso	Arc	S2	0.5	No meteorizada	Di	Seco		
22	84	189	DIORITA	25	0.6	4	Esc/Rugoso	Arc	S2	0.5	No meteorizada	Di	Seco		
23	56	92	DIORITA	9	1.1	2	Esc/Pulido	Arc	S2	0.5	No meteorizada	Di	Seco		1
24	87	295	DIORITA	20	0.9	2	Ond/Liso	Arc	S2	0.5	No meteorizada	Di	Seco		
25	71	104	DIORITA	58	0.65	2	Ond/Liso	Arc	S2	0.5	No meteorizada	Di	Seco		
26	62	89	DIORITA	8	0.35	2	Ond/Liso	Arc	S2	0.5	No meteorizada	Di	Seco		1
27	68	204	DIORITA	20	0.8	3	Ond/Liso	Arc	S2	0.5	No meteorizada	Di	Seco		
28	70	224	DIORITA	28	0.7	3	Ond/Liso	Arc	S2	0.5	No meteorizada	Di	Seco		
29	79	359	DIORITA	28	0.48	2	Esc/Liso	Arc	S2	0.5	No meteorizada	Di	Seco		3
30	63	262	DIORITA	20	0.65	2	Esc/Liso	Arc	S2	0.5	No meteorizada	Di	Seco		
31	80	175	P TONALITICO	18	1.1	4	Esc/Rugoso	Arc	S2	0.5	No meteorizada	Di	Humedo		
32	76	300	P TONALITICO	12	2	3	Esc/Liso	Arc	S2	0.5	No meteorizada	Di	Humedo		
33	86	358	P TONALITICO	11	1	2	Esc/Liso	Arc	S2	0.5	No meteorizada	Di	Humedo		3
34	66	334	P TONALITICO	22	1.2	2	Esc/Liso	Si	S2	0.5	No meteorizada	Di	Humedo		
35	89	70	P TONALITICO	40	0.57	2	Esc/Liso	Arc	S2	0.5	No meteorizada	Di	Humedo		
36	83	24	P TONALITICO	14	1.5	2	Ond/Liso	Arc	S2	0.5	No meteorizada	Di	Humedo		3
37	88	95	P TONALITICO	42	1.1	3	Esc/Liso	Si	S2	0.5	No meteorizada	Di	Humedo		
38	88	110	P TONALITICO	32	1.2	3	Esc/Liso	Ox	S2	0.5	No meteorizada	Di	Humedo		2
39	86	11	P TONALITICO	50	1.2	3	Esc/Liso	Si	S2	0.5	No meteorizada	Di	Humedo		3
40	44	90	P TONALITICO	26	0.2	4	Esc/Liso	Si	S2	0.5	No meteorizada	Di	Humedo		1
41	44	85	P TONALITICO	26	1.1	3	Esc/Liso	Si	S2	0.5	No meteorizada	Di	Humedo		1
42	59	340	P TONALITICO	6	1.05	2	Ond/Pulido	Arc	S2	0.5	No meteorizada	Di	Humedo		
43	56	66	P TONALITICO	30	0.52	3	Ond/Liso	Arc	S2	0.5	No meteorizada	Di	Humedo		1
44	35	78	P TONALITICO	19	1.2	2	Ond/Liso	Si	S2	0.5	No meteorizada	Di	Humedo		1
45	51	88	P TONALITICO	18	1.2	2	Ond/Liso	Arc	S2	0.5	No meteorizada	Di	Humedo		1
46	87	140	P TONALITICO	17	3	2	Ond/Liso	Arc	S2	0.5	No meteorizada	Di	Humedo		
47	44	83	P TONALITICO	18	1.2	4	Ond/Pulido	Ox	S2	0.5	No meteorizada	Di	Humedo		1
48	56	90	P TONALITICO	23	1.5	3	Esc/Pulido	Ox	S2	1	No meteorizada	Di	Humedo		1
49	35	78	P TONALITICO	30	2	3	Ond/Liso	Ox	S2	0.5	No meteorizada	Di	Humedo		1
50	83	354	P TONALITICO	37	1.8	3	Ond/Liso	Arc	S2	0.5	No meteorizada	Di	Humedo		3

Martillo Schmidt (realizar 20 mediciones)

Indice de rebote (mat 1)

3.5 / 4.2 / 3.0 / 3.0 / 3.8 / 3.3 / 3.6 / 3.9 / 3.5 / 4.2 / 3.0 / 3.0 / 3.4 / 3.8 / 4.3 / 4.4 / 3.8 / 3.3 / 5.1 / 4.6

Indice de rebote (mat 2)

3.5 / 3.2 / 2.4 / 3.0 / 3.4 / 2.5 / 3.5 / 3.1 / 3.5 / 3.8 / 2.5 / 3.4 / 3.1 / 4.0 / 3.1 / 2.4 / 3.0 / 3.4 / 3.0 / 2.4

Orientacion del equipo:

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla N° 06: Caracterización Geomecánica Nv. 2370.

DESCRIPCION DEL MACIZO ROCOSO

Estacion Geotecnica: EG-04 Norte: 9,110,300.186  
 Fecha: 01/04/18 GAL 10138-5 C Lab: 28584 Zona: VALERIA IV Nivel: 2370 Este: 230,640.206  
 Resistencia: 96 Mpa. Efecto voladura: 0.0050 0.5 Cota: 2,372.966

N°	Dip	Ddir	Litologia	Espac cm	Persist m	Rug < esc	Rug > esc	Tipo Relleno	Resist. Relleno	Apertura Relleno (mm)	Alteración	T/C	Humedad	Observaciones	Set
1	40	63	DIORITA	10	2	4	Esc/Pulido	Si	R4	1	Ligeramente	Di	Humedo		
2	52	74	DIORITA	20	0.44	4	Esc/Pulido	Si	R4	2	Ligeramente	Di	Humedo		
3	80	142	DIORITA	20	0.6	6	Ond/Pulido	Si	R3	1	Ligeramente	Di	Humedo		2
4	48	253	DIORITA	14	3	2	Ond/Liso	Pz	S2	1	Ligeramente	Di	Humedo		1
5	65	168	DIORITA	10	2	2	Ond/Pulido	Si	R3	1	Ligeramente	Di	Humedo		4
6	52	250	DIORITA	40	1.1	2	Esc/Pulido	Arc	S2	1	Ligeramente	Di	Humedo		1
7	75	330	DIORITA	52	0.6	2	Ond/Rugoso	Arc	S1	1	Ligeramente	Di	Humedo		
8	47	154	DIORITA	34	3	5	Ond/Rugoso	Si	R3	1	Moderadamente	Di	Seco		4
9	63	316	DIORITA	60	1.5	4	Esc/Pulido	Arc	S2	1	Moderadamente	Di	Seco		
10	82	335	DIORITA	36	0.42	6	Ond/Rugoso	Arc	S2	2	Ligeramente	Di	Seco		
11	49	157	DIORITA	15	1.1	4	Ond/Pulido	Arc	S2	1	Moderadamente	Di	Seco		4
12	48	164	DIORITA	15	0.25	6	Ond/Rugoso	Arc	S2	1	Ligeramente	Di	Seco		4
13	64	310	DIORITA	26	1.8	4	Ond/Liso	Si	R3	1	Ligeramente	Di	Seco		
14	77	180	DIORITA	32	1.5	3	Ond/Liso	Arc	S2	1	Ligeramente	Di	Seco		4
15	69	145	DIORITA	55	0.6	3	Esc/Liso	Arc	S2	1	Ligeramente	Di	Humedo		2
16	64	239	DIORITA	55	0.6	3	Esc/Liso	Arc	S2	1	Moderadamente	Di	Seco		1
17	57	129	DIORITA	9	0.7	5	Ond/Rugoso	Si	R3	1	Ligeramente	Di	Seco		
18	59	255	DIORITA	37	0.92	3	Ond/Liso	Si	R3	1	Ligeramente	Di	Seco		1
19	70	170	DIORITA	30	1.2	3	Esc/Pulido	Si	R3	1	Ligeramente	Di	Seco		4
20	33	256	DIORITA	10	10	3	Ond/Liso	Arc	S2	1	Ligeramente	Di	Humedo		
21	57	119	DIORITA	45	0.5	4	Ond/Rugoso	Arc	S1	1	Ligeramente	Di	Seco		
22	60	159	DIORITA	70	1.1	4	Esc/Liso	Arc	S2	1	Ligeramente	Di	Seco		4
23	69	234	DIORITA	30	1.3	4	Esc/Liso	Arc	S1	1	Ligeramente	Di	Seco		1
24	75	146	DIORITA	10	0.65	5	Ond/Rugoso	Arc	S2	1	Ligeramente	Di	Seco		2
25	52	246	DIORITA	90	10	2	Esc/Pulido	Arc	S2	1	Ligeramente	Di	Seco		1
26	57	233	DIORITA	12	1.8	3	Esc/Liso	Si	R3	1	Ligeramente	Di	Seco		1
27	89	230	DIORITA	83	1.6	2	Ond/Liso	Si	R3	1	Ligeramente	Di	Seco		
28	80	232	DIORITA	80	0.8	3	Ond/Liso	Si	R3	1	Moderadamente	Di	Seco		
29	54	254	DIORITA	10	10	3	Esc/Liso	Si	R3	100	Moderadamente	Fa	Seco	Falla	1
30	71	161	DIORITA	16	1.4	3	Esc/Liso	Arc	S2	30	Moderadamente	Fa	Seco	Falla	4
31	75	254	DIORITA	20	1.1	2	Esc/Liso	Arc	S2	150	Ligeramente	Fa	Seco	Falla	
32	64	193	DIORITA	10	0.6	2	Plan/Rugoso	Arc	S2	2	Ligeramente	Di	Seco		
33	64	223	DIORITA	10	0.6	2	Plan/Rugoso	Arc	S2	1	Ligeramente	Di	Seco		1
34	76	220	DIORITA	15	0.85	2	Esc/Pulido	Si	R3	1	Ligeramente	Di	Seco		
35	79	187	DIORITA	15	0.9	3	Esc/Liso	Arc	S2	1	Ligeramente	Di	Seco		
36	61	187	DIORITA	30	1.2	3	Esc/Liso	Si	R3	1	Ligeramente	Di	Seco		
37	61	265	DIORITA	90	0.5	3	Esc/Liso	Si	R3	1	Moderadamente	Di	Seco		1
38	32	253	DIORITA	10	1	3	Esc/Liso	Arc	S2	1	Moderadamente	Di	Seco		
39	87	69	DIORITA	25	1.2	4	Esc/Pulido	Si	R3	1	Moderadamente	Di	Humedo		
40	59	252	DIORITA	10	10	2	Ond/Liso	Si	R3	1	Moderadamente	Di	Seco		1
41	86	138	DIORITA	35	1.4	3	Esc/Liso	Arc	S2	1	Moderadamente	Di	Seco		2
42	58	242	DIORITA	37	1.2	3	Esc/Liso	Arc	S2	1	Ligeramente	Di	Seco		1
43	58	40	DIORITA	23	0.9	2	Esc/Pulido	Arc	S2	1	Moderadamente	Di	Seco		3
44	64	242	DIORITA	19	1.5	2	Esc/Pulido	Arc	S2	1	Moderadamente	Di	Seco		1
45	29	55	DIORITA	35	0.4	3	Esc/Pulido	Arc	S2	1	Ligeramente	Di	Seco		
46	79	172	DIORITA	50	1.1	3	Esc/Liso	Arc	S2	1	Ligeramente	Di	Seco		4
47	42	61	DIORITA	30	0.5	3	Esc/Liso	Arc	S2	1	Moderadamente	Di	Seco		
48	54	46	DIORITA	15	0.5	2	Esc/Liso	Arc	S2	1	Moderadamente	Di	Seco		3
49	58	49	DIORITA	12	5	2	Esc/Liso	Arc	S2	1	Moderadamente	Di	Seco		3
50	55	181	DIORITA	10	3.5	3	Esc/Liso	Arc	S2	1	Moderadamente	Fa	Seco	Falla	4

Martillo Schmidt (realizar 20 mediciones)  
 Indice de rebote (mat 1)  
 Indice de rebote (mat 2)

Orientacion del equipo:  
 4.3 / 4.4 / 4.0 / 4.0 / 4.5 / 4.0 / 4.3 / 4.1 / 4.0 / 4.1 / 3.4 / 3.5 / 3.7 / 3.2 / 3.8 / 2.7 / 4.3 / 3.6 / 3.8 / 4.2

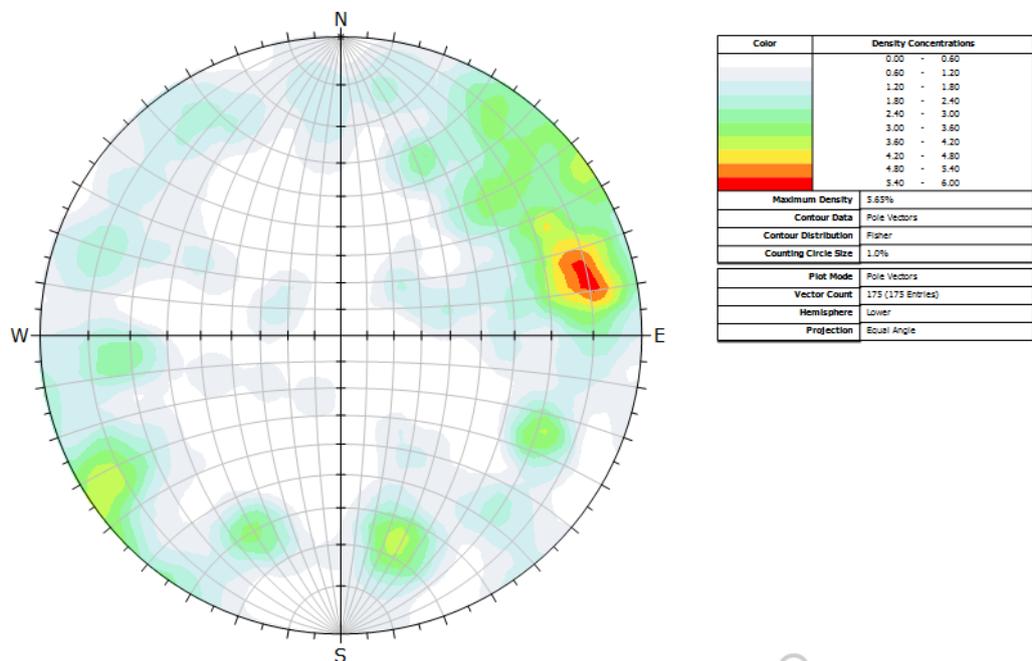
Fuente: Elaboración Propia.

### 4.1.3 Distribución de Discontinuidades

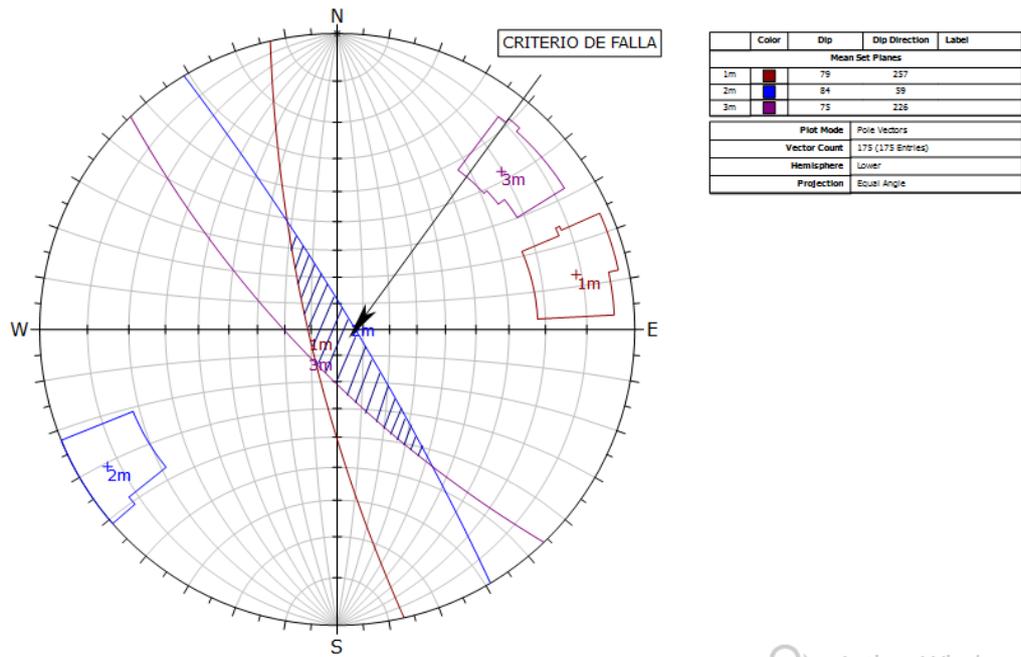
Para establecer las características de distribución de discontinuidades o arreglo estructural de la masa rocosa de estructuras mayores como menores, se procesaron los datos orientacionales obtenidos durante los trabajos de campo utilizando técnicas estereográficas, para ello se ha empleado la versión avanzada del programa de cómputo DIPS de Rocscience Inc. elaborado por M.S. Diederichs y E. Hoek del Grupo de Ingeniería de Rocas del Departamento de Ingeniería Civil de la Universidad de Toronto (Canadá). Se ha realizado una interpretación de los datos estructurales asociados a la zona de profundización (Nv. 2370 y Nv. 2320).

#### 4.1.3.1 Estructuras mayores - Fallas

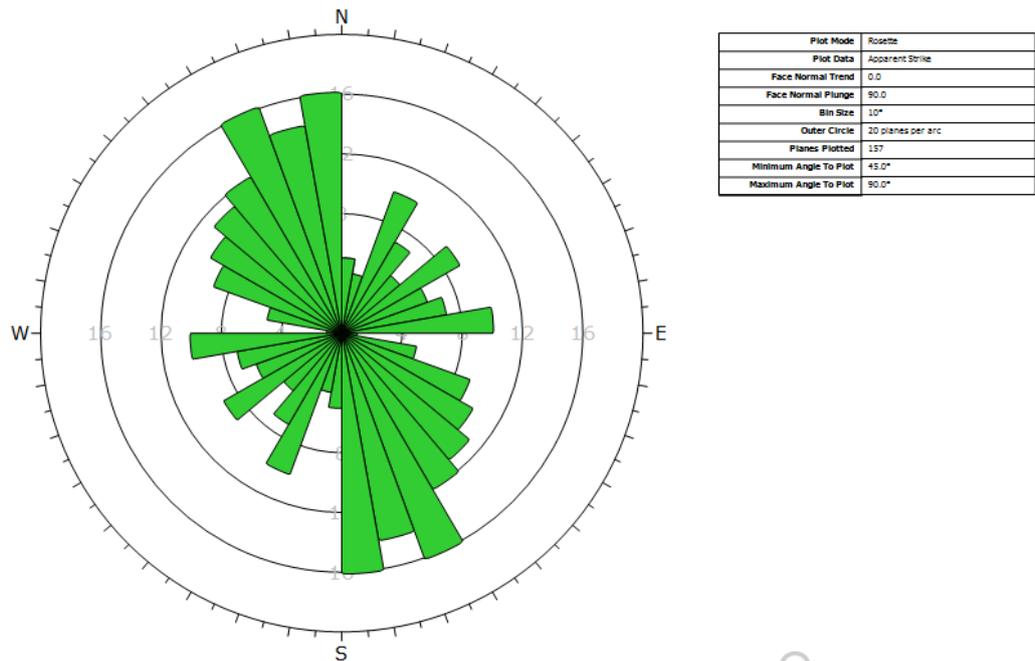
Se resume los sistemas de fallas del compuesto de estructuras presentes y los diagramas estereográficos.



**Figura N° 48:** Diagrama estereográfico de contornos del compuesto de fallas.  
**Fuente:** Rocscience Inc.



**Figura N° 49:** Diagrama estereográfico de planos principales del compuesto de fallas.  
**Fuente:** Rocscience Inc.



**Figura N° 50:** Diagrama de Roseta del compuesto de fallas.  
**Fuente:** Rocscience Inc.

Del compuesto general de fallas, podemos establecer que el arreglo estructural de la zona de estudio tiene las siguientes características:  
 Presencia de tres sistemas principales de fallas locales.

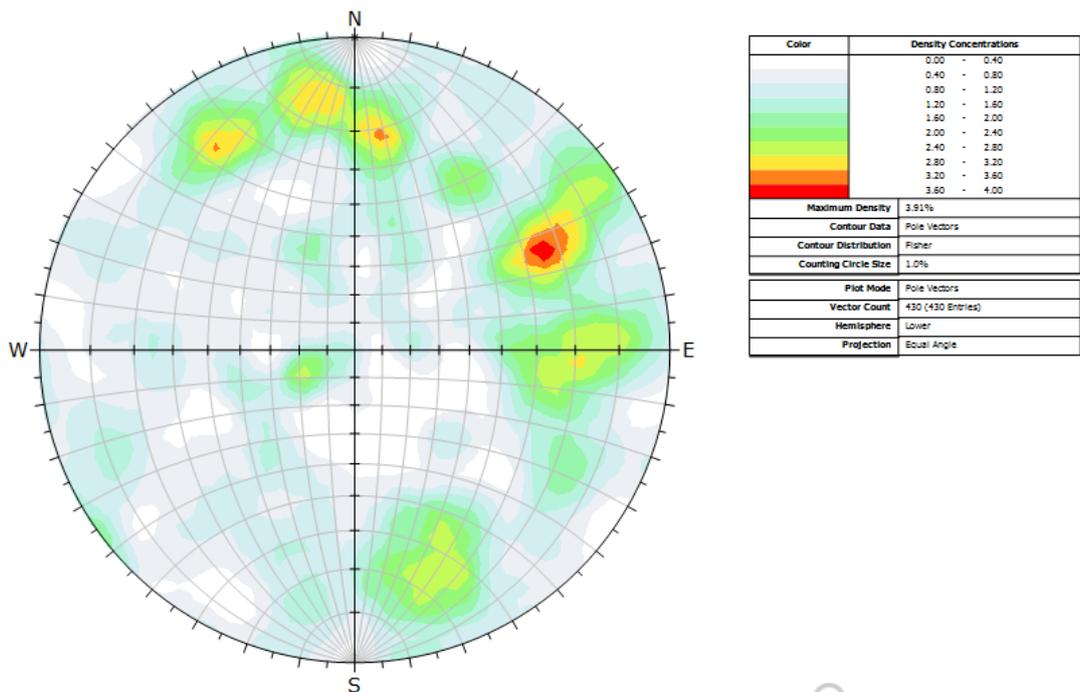
- La primera con dirección de buzamiento de 257° y buzamiento de 79°.

- La segunda con dirección de buzamiento de 059° y buzamiento de 84°.
- La tercera con dirección de buzamiento de 226° y buzamiento de 75°. Presenta un posible criterio de falla por gravedad (cuña).

Los 3 sistemas con orientación NW-SE lo cual concuerda con la orientación de los sistemas de discontinuidades.

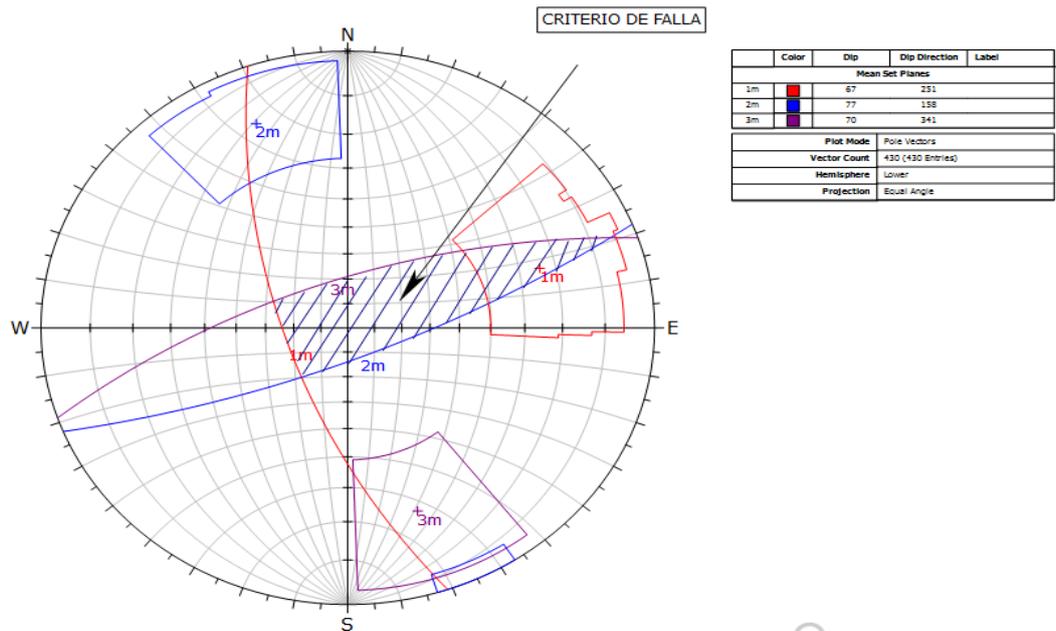
#### 4.1.3.2 Estructuras menores - Discontinuidades:

Se resume los sistemas de discontinuidades y diaclasas del compuesto de estructuras presentes y los diagramas estereográficos.



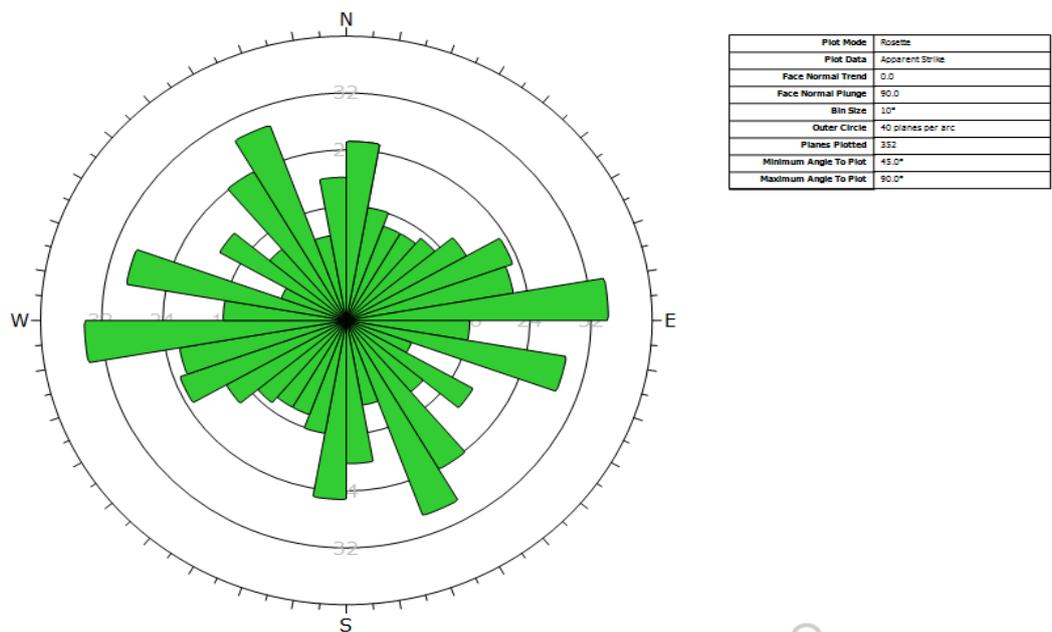
**Figura N° 51:** Diagrama estereográfico de contornos del conjunto de discontinuidades.

**Fuente:** Rocscience Inc.



**Figura N° 52:** Diagrama estereográfico de planos principales del compósito de discontinuidades.

**Fuente:** Rocscience Inc.



**Figura N° 53:** Diagrama de roseta del compósito de discontinuidades.

**Fuente:** Rocscience Inc.

Del compósito general de discontinuidades, podemos establecer que el arreglo estructural de la zona de estudio tiene las siguientes características: Presencia de tres sistemas principales de discontinuidades.

- El primer sistema con Dirección de Buzamiento 251° y Buzamiento 67°.
- El segundo sistema con 158° de dirección de buzamiento y 77° de buzamiento.
- El tercer sistema con 341° de dirección de buzamiento y 70° de buzamiento.

Presenta un posible criterio de falla por deslizamiento (cuña). Los 3 sistemas con una orientación principal NW-SE.

En conclusión, cabe mencionar que el arreglo estructural de las estructuras mayores guarda estrecha relación con el arreglo estructural de las estructuras menores.

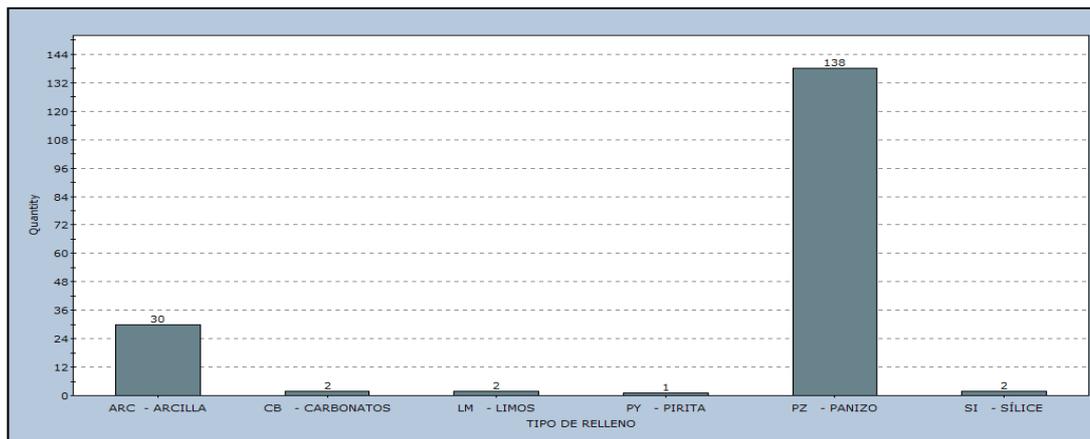
#### **4.1.4 Aspecto estructural de las discontinuidades**

Las características estructurales de las discontinuidades se establecieron mediante tratamiento estadístico de la información registrada en los mapeos geotécnicos, la que se trató de compatibilizar con las observaciones in-situ. Las siguientes son las principales características estructurales de las discontinuidades tanto mayores como menores

##### **4.1.4.1 Fallas:**

Las fallas tienen persistencias mayores a 2 metros en estructuras secundarias y pueden sobrepasar los 50 metros en estructuras principales. Las fallas presentan relleno suave con presencia de arcilla y panizo, con espesores menores a 5 cm (fallas locales) y mayores a 5 cm (fallas regionales). Las superficies de las caras son lisas y presentan espejos de fallas.

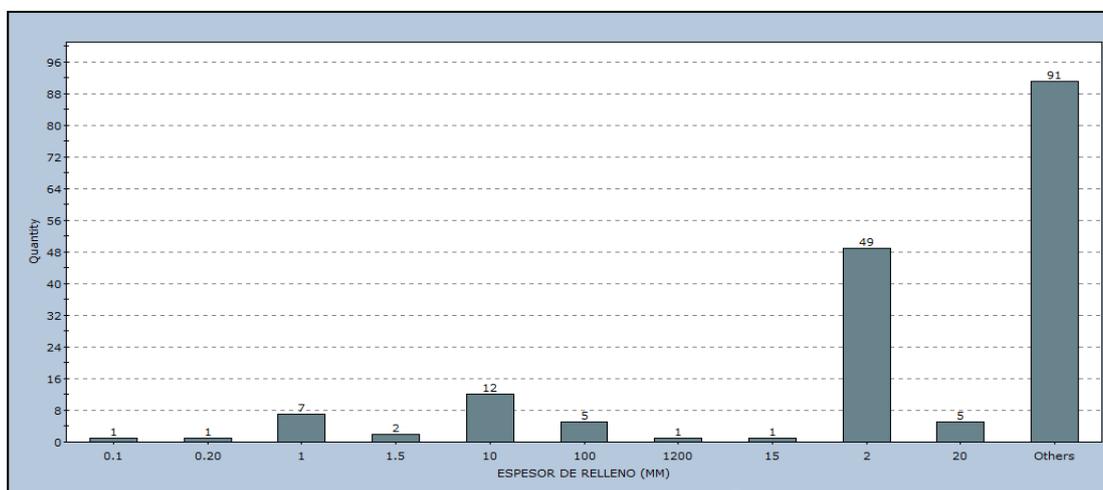
**Qualitative Chart of TIPO DE RELLENO**



**Figura N° 54:** Diagrama de Frecuencia tipo de relleno de Fallas

Fuente: Rocscience Inc.

**Qualitative Chart of ESPESOR DE RELLENO (MM)**



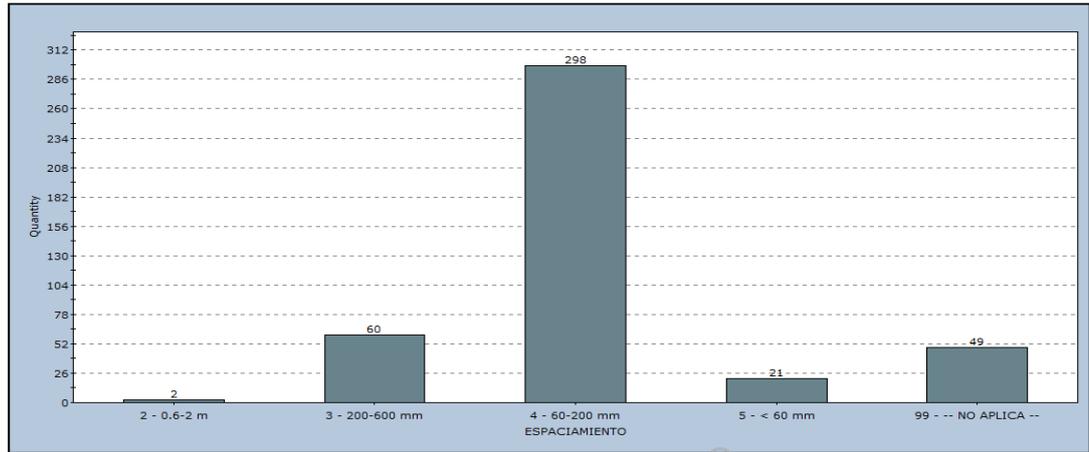
**Figura N° 55:** Diagrama de Frecuencia espesor de relleno de Fallas.

Fuente: Rocscience Inc.

#### 4.1.4.2 Discontinuidades:

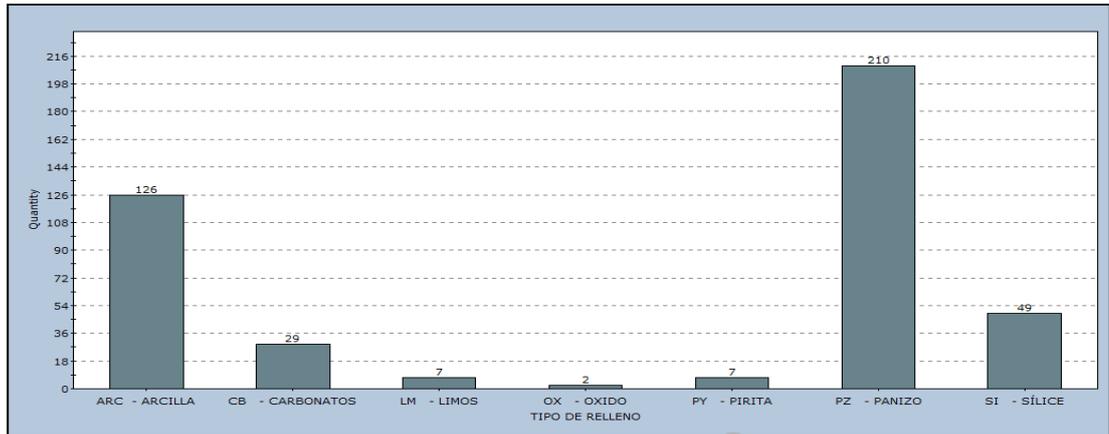
Sus características estructurales son: espaciamiento por lo general está entre 6 y 20 cm, persistencia de 3 a 10m, apertura variable que va desde 0.1 mm a 5.0 mm, con mayor frecuencia de 1.0 a 2.0mm, con paredes de lisas a ligeramente rugosas, el relleno es mayormente arcilla, panizo y sílice, las paredes de las discontinuidades están ligeramente alteradas a sanas, con presencia de humedad.

**Qualitative Chart of ESPACIAMIENTO**



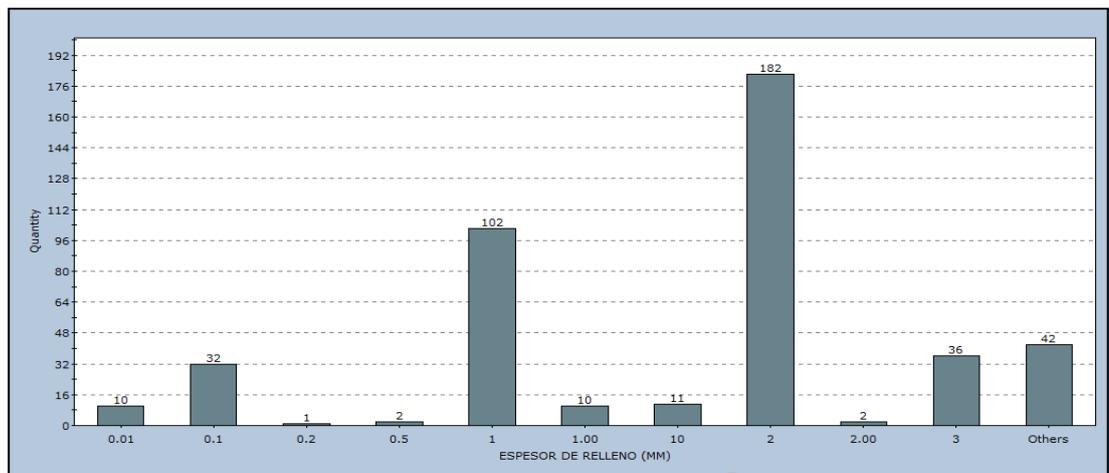
**Figura N° 56:** Diagrama de Frecuencia espaciamento de discontinuidades.  
**Fuente:** Rocscience Inc.

**Qualitative Chart of TIPO DE RELLENO**



**Figura N° 57:** Diagrama de Frecuencia tipo de relleno de discontinuidades.  
**Fuente:** Rocscience Inc.

**Qualitative Chart of ESPESOR DE RELLENO (MM)**



**Figura N° 58:** Diagrama de Frecuencia espesor de relleno de discontinuidades.  
**Fuente:** Rocscience Inc.

## **4.2 Estudio Geomecánico**

La clasificación geomecánica de la masa rocosa se realizó utilizando el criterio de Bieniawski de 1989 (RMR – Rock Mass Rating o Valoración de la Masa Rocosa). Los valores de resistencia compresiva de la roca intacta fueron obtenidos conforme a los procedimientos de la ISRM (Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas).

Los valores de designación de la calidad de la roca (RQD) fueron determinados mediante el registro lineal de discontinuidades utilizando la relación propuesta por Priest & Hudson (1986) teniendo como parámetro de entrada principal la frecuencia de fracturamiento por metro lineal. También se ha obtenido valores de RQD de la data del mapeo geotécnico de testigos de los sondajes diamantinos.

Las fuentes de información para la clasificación del macizo rocoso han sido principalmente el mapeo geomecánico de la masa rocosa de las labores subterráneas realizadas en la zona de profundización y los registros de logueo geotécnico de los testigos rocosos de los sondajes diamantinos ejecutados como parte de la exploración de profundización.

### **4.2.1 Caracterización geomecánica**

Para obtener valores numéricos de la calidad del macizo rocoso se ha usado el sistema de Valoración RMR (Rock Mass Rating, Bieniawski 1989).

Cabe resaltar que, para la zona de estudio, La Zonificación Geomecánica se realizó de acuerdo al dominio litológico presente y su relación con su clasificación Geomecánica, dichos resultados se presentan en las tablas siguientes, cabe resaltar que los resultados estimados son el promedio general para cada tipo de roca, con fines de ingresar la información para la simulación numérica.

**Tabla N° 07:** Valor promedio de la calidad geomecánica para la Diorita.

<b>CLASIFICACION GEOMECANICA RMR - DIORITA</b>			
<b>PARAMETRO</b>	<b>RANGO</b>	<b>VALOR</b>	
RESISTENCIA	50 - 100 MPa	7	
RQD	25 - 50%	8	
ESPACIAMIENTO	60 - 200 mm	8	
CONDICION DE DISCONTINUIDADES	PERSISTENCIA	3 - 10 m	2
	APERTURA	0.1 - 1.0 mm	4
	RUGOSIDAD	Ligeramente	3
	RELLENO	Duro < 5mm	4
	ALTERACION	Moderadamente	3
PRESENCIA DE AGUA	Húmedo	10	
AJUSTE POR ORIENTACION	Desfavorable	-10	
	<b>RMR Basico</b>	<b>49</b>	
	<b>RMR Ajustado</b>	<b>39</b>	
	<b>GSI</b>	<b>34</b>	

Fuente: Elaboración Propia.

**Tabla N° 08:** Valor promedio de la calidad geomecánica para el Granito

<b>CLASIFICACION GEOMECANICA RMR - GRANITO</b>			
<b>PARAMETRO</b>	<b>RANGO</b>	<b>VALOR</b>	
RESISTENCIA	50 - 100 MPa	7	
RQD	25 - 50%	8	
ESPACIAMIENTO	60 - 200 mm	8	
CONDICION DE DISCONTINUIDADES	PERSISTENCIA	3 - 10 m	2
	APERTURA	0.1 - 1.0 mm	4
	RUGOSIDAD	Ligeramente	3
	RELLENO	Duro < 5mm	4
	ALTERACION	Moderadamente	3
PRESENCIA DE AGUA	Húmedo	10	
AJUSTE POR ORIENTACION	Desfavorable	-5	
	<b>RMR Basico</b>	<b>49</b>	
	<b>RMR Ajustado</b>	<b>44</b>	
	<b>GSI</b>	<b>39</b>	

Fuente: Elaboración Propia.

**Tabla N° 09:** Valor promedio de la calidad geomecánica para la Granodiorita.

<b>CLASIFICACION GEOMECANICA RMR - GRANODIORITA</b>			
<b>PARAMETRO</b>	<b>RANGO</b>	<b>VALOR</b>	
RESISTENCIA	50 - 100 MPa	7	
RQD	25 - 50%	8	
ESPACIAMIENTO	60 - 200 mm	8	
CONDICION DE DISCONTINUIDADES	PERSISTENCIA	10 - 20 m	1
	APERTURA	0.1 - 1.0 mm	4
	RUGOSIDAD	Ligeramente	3
	RELLENO	Duro < 5mm	4
	ALTERACION	Moderadamente	3
PRESENCIA DE AGUA	Húmedo	10	
AJUSTE POR ORIENTACION	Desfavorable	-5	
	<b>RMR Basico</b>	<b>48</b>	
	<b>RMR Ajustado</b>	<b>43</b>	
	<b>GSI</b>	<b>38</b>	

Fuente: Elaboración Propia.

**Tabla N° 10:** Valor promedio de la calidad geomecánica para la Microdiorita

<b>CLASIFICACION GEOMECANICA RMR - MICRODIORITA</b>			
<b>PARAMETRO</b>	<b>RANGO</b>	<b>VALOR</b>	
RESISTENCIA	50 - 100 MPa	7	
RQD	25 - 50%	8	
ESPACIAMIENTO	60 - 200 mm	8	
CONDICION DE DISCONTINUIDADES	PERSISTENCIA	10 - 20 m	1
	APERTURA	1.0 - 5.0 mm	1
	RUGOSIDAD	lisa	1
	RELLENO	Duro < 5mm	4
	ALTERACION	Moderadamente	3
PRESENCIA DE AGUA	Húmedo	10	
AJUSTE POR ORIENTACION	Desfavorable	-5	
	<b>RMR Basico</b>	<b>43</b>	
	<b>RMR Ajustado</b>	<b>38</b>	
	<b>GSI</b>	<b>33</b>	

**Fuente:** Elaboración Propia.

**Tabla N° 11:** Valor promedio de la calidad geomecánica para la Tonalita

<b>CLASIFICACION GEOMECANICA RMR - TONALITA</b>			
<b>PARAMETRO</b>	<b>RANGO</b>	<b>VALOR</b>	
RESISTENCIA	25 - 50 MPa	4	
RQD	25 - 50%	8	
ESPACIAMIENTO	60 - 200 mm	8	
CONDICION DE DISCONTINUIDADES	PERSISTENCIA	3 - 10 m	2
	APERTURA	1.0 - 5.0 mm	1
	RUGOSIDAD	lisa	1
	RELLENO	Blando < 5mm	1
	ALTERACION	Moderada	3
PRESENCIA DE AGUA	Húmedo	10	
AJUSTE POR ORIENTACION	Regular	-5	
	<b>RMR Basico</b>	<b>38</b>	
	<b>RMR Ajustado</b>	<b>33</b>	
	<b>GSI</b>	<b>28</b>	

**Fuente:** Elaboración Propia.

#### 4.2.2 Condición de agua subterránea

La presencia del agua dentro de la masa rocosa, influye adversamente en las condiciones de estabilidad de las labores subterráneas. Su principal efecto es la presión que ejerce en las discontinuidades, disminuyendo la resistencia al corte y por tanto reduciendo el factor de seguridad o grado de estabilidad.

Según la caracterización geomecánica de la masa rocosa, la presencia de agua corresponde típicamente a condiciones de humedad, en forma localizada a condiciones de mojado y goteos esporádicos. En ese sentido, se anticipa que el agua no será mayor problema para las condiciones de estabilidad de las labores mineras en rocas de calidad Regular B (III-B) a otras de calidad superior. En áreas localizadas donde la masa rocosa tenga calidad Mala A (IV-

A) a menor calidad, la presencia del agua podría influir en las condiciones de estabilidad de las excavaciones.

#### 4.2.3 Clasificación Geomecánica

Un resumen de la clasificación geomecánica efectuada se presenta en la siguiente tabla, en donde se dan los rangos de valores de calidad de la masa rocosa (expresado en RMR) por tipos de rocas presentes en el área de estudio.

**Tabla N° 12:** Calidad de la masa rocosa por tipo de roca.

LITOLOGÍA	RANGO RMR	CALIDAD DE LA MASA ROCOSA
DIORITA	36 - 54	IIIA, IIIB y IVA
GRANITO	38 - 56	IIIA, IIIB y IVA
GRANODIORITA	43 - 46	IIIB
MICRODIORITA	44 - 53	IIIA y IIIB
TONALITA	32 - 41	IIIB y IVA

**Fuente:** Elaboración Propia.

Según estos resultados, podemos mencionar lo siguiente en función a un RMR Básico:

- La Diorita tiene típicamente calidad Regular B (III-B, RMR promedio 45), mala A (IV-A, RMR promedio 36) y localmente regular A (III-A, RMR promedio 54). De los 710 mapeos geomecánicos realizados en la zona, 213 clasifican la roca como III-B.
- La calidad que predomina en la masa rocosa con litología Granito es Regular B (III-B, RMR promedio 46), seguido de la calidad Mala A (IV-A, RMR promedio 38), de manera localizada existe roca de calidad Regular A (III-A, RMR promedio 56).
- La granodiorita de calidad Regular B (III-B), RMR promedio de 45.
- La microdiorita de calidad Regular B (III-B), RMR promedio 44, de manera localizada existe roca de calidad Regular A (III-A, RMR promedio 53).
- La Tonalita por lo general es de calidad Mala A (IV-A, RMR promedio 32) a Regular B (III-B, RMR promedio 41).

Para la aplicación racional de los diferentes métodos de cálculo de mecánica de rocas, es necesario que la masa rocosa de estudio esté dividida en áreas con características litológicas, estructurales y mecánicas similares (celdas), debido a que los criterios de diseño y análisis de resultados serán válidos solo dentro de masas rocosas que presenten propiedades físicas y mecánicas similares. Por ello, es práctica común en el diseño de excavaciones subterráneas delimitar el área de estudio en zonas geomecánicas o dominios estructurales que tengan en común las propiedades señaladas.

El criterio principal para la zonificación geomecánica ha sido la calidad del macizo rocoso bajo un contexto lito-estructura y propiedades físico-mecánicas, las cuales son consideraciones importantes a tomarse en cuenta para la delimitación de los dominios de calidad de roca.

#### 4.2.4 Plano Geomecánico

De acuerdo a la toma de datos recolectados se ha realizado la zonificación Geomecánica y a la vez se han planteado las familias de discontinuidades (Fallas y Juntas).

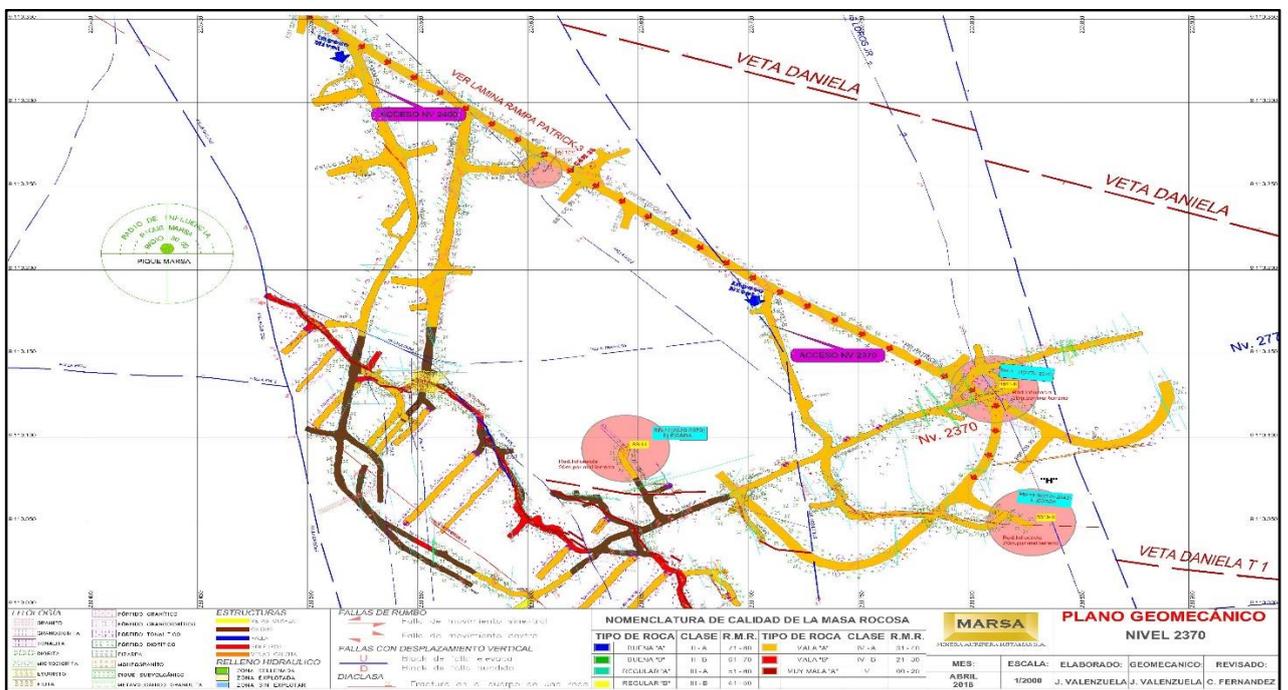


Figura N° 59: Plano Geomecánico Nv. 2370.  
Fuente: Departamento de Geomecánica Marsa.

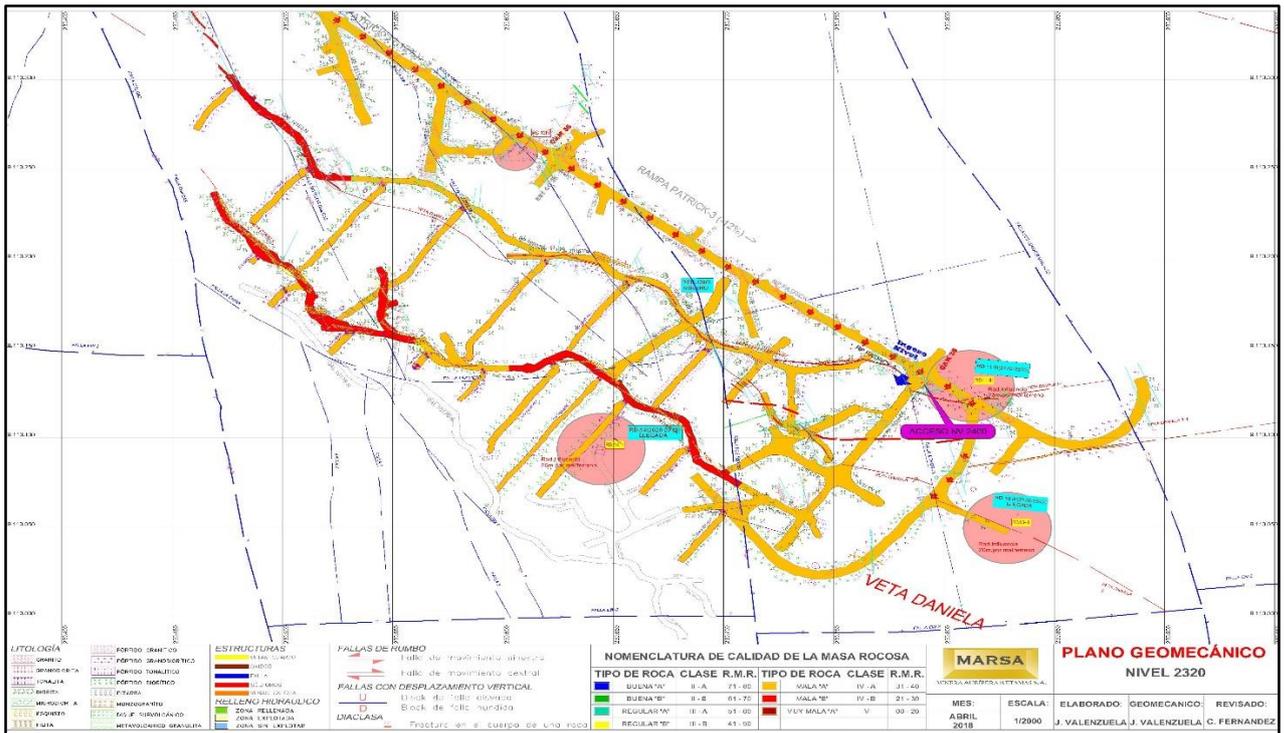


Figura N° 60: Plano Geomecánico Nv. 2320.  
Fuente: Departamento de Geomecánica Marsa.

#### 4.2.5 Estimación del sostenimiento

De acuerdo a la clasificación RMR<sub>89</sub> para un macizo rocoso Mala IV – A ajustado, se debe aplicar la siguiente Indicación Geomecánica tal como se muestra en la siguiente figura.

Tabla N° 13: Equivalencia GSI y RMR

TIPO DE ROCA	RMR BENIAWSKI	CLASIFICACIÓN DE LA ROCA
II	II-A 71 - 80	BUENA "A"
	II-B 61 - 70	BUENA "B"
III	III-A 51 - 60	REGULAR "A"
	III-B 41 - 50	REGULAR "B"
IV	IV-A 31 - 40	MALA "A"
	IV-B 21 - 30	MALA "B"
V	V-A 0 - 20	MUY MALA

Fuente: Departamento de Geomecánica Marsa.

Tabla N° 14: Recomendación de Sostenimiento.

INDICACIÓN DE SOSTENIMIENTO POR TIPO DE ROCA Y POR TIPO DE LABOR					
RMR	CLASE	TIPO DE	LABORES DE AVANCE	LABORES DE EXPLOTACIÓN	
71-80	BUENA "A"	II-A	Sin sostenimiento	Sin sostenimiento	
61-70	BUENA "B"	II-B	Sostenimiento puntual	<b>Tajo convencional:</b> Puntales en línea de 7 pulg a 9 pulg de diámetro con Jack pot de Ø 7 pulg puntualmente. <b>Tajo mecanizado:</b> Perno de fricción de 5 pies puntualmente	
51-60	REGULAR "A"	III-A	<b>Labores ≤ a 3.5 m x 3.5 m:</b> Pernos de roca y/o fricción de 5 pies de largo, espaciados de 1.2 m a 1.5 m. En intersecciones usar Pernos de 7 pies. <b>En Subniveles o Chimenea,</b> sin sostenimiento. <b>Labores ≥ a 4.0 m x 4.0 m:</b> Colocar pernos de roca sistemáticos de 8 pies de largo, espaciados de 1.2 m a 1.5 m (Ocasionalmente malla electro-soldada). En intersecciones usar Pernos de 10 pies.	<b>Tajo convencional:</b> Puntales en línea de 7 pulg a 9 pulg de diámetro con Jack pot de Ø 7 pulg espaciados a 1.5 m x 1.5 m. <b>Tajo mecanizado:</b> Perno de fricción de 5 pies espaciados de 1.0 m a 1.2 m.	
41-50	REGULAR "B"	III-B	<b>Labores ≤ a 3.5 m x 3.5 m:</b> Pernos de roca y/o fricción de 5 pies de largo, espaciados de 1.0 m a 1.2 m; más malla electro-soldada en corona (ocasionalmente malla electro-soldada hasta la gradiente). En intersecciones usar Pernos de 8 pies. <b>En Subniveles o Chimenea,</b> Split set de 4 pies y/o Puntal en línea de 7 pulg a 9 pulg de diámetro con Jack pot de Ø 7 pulg espaciados a 1.50 m. <b>Labores ≥ o iguales a 4.0 m x 4.0 m:</b> Perno de roca de 8 pies de largo espaciados de 1.2 m a 1.5 m con malla electro-soldada. Reforzar con shotcrete de espesor mayor o igual a 2 pulg (según evaluación geomecánica). En intersecciones usar Pernos de 10 pies.	<b>Tajo convencional:</b> Puntales en línea de 7 pulg a 9 pulg de diámetro con Jack pot de Ø 7 pulg espaciados de 1.2 a 1.4 m tanto en el eje vertical como horizontal. <b>Tajo mecanizado:</b> Colocar perno de fricción de 5 pies, espaciados a 1.0 m a 1.2 m; más malla electro-soldada en corona.	
31-40	MALA "A"	IV-A	<b>Labores ≤ a 3.5 m x 3.5 m:</b> Perno de roca y/o fricción de 5 pies de largo, espaciados de 1.2 m a 1.5 m más malla electro-soldada. Reforzar con shotcrete de 2 pulgadas de espesor (según evaluación geomecánica). En intersecciones usar Pernos de 7 pies. <b>En Subniveles, Chimeneas o Galerías,</b> cuadros de madera de 7 pulg a 9 pulg de diámetro, espaciados de 1.40 m a 1.50 m, con enrejado (según evaluación geomecánica), encribado a la corona y topes desde el hastial a la unión del poste, sombrero y tirante. En las labores que forman la intersección espaciar de 1.0 m a 1.2 m. <b>Labores ≥ a 4.0 m x 4.0 m:</b> Colocar perno de roca de 8 pies de largo espaciados de 1.2 m a 1.5 m con malla electro-soldada reforzado con shotcrete de espesor mayor o igual a 2 pulg, previamente lanzar una capa de shotcrete de 1 pulg de espesor con 20 Kg de fibra/m3. En intersecciones usar Pernos de 10 pies.	<b>Tajo convencional:</b> Cuadros de madera de 7 pulg a 9 pulg de diámetro espaciados de 1.4 a 1.6 m encribado a la corona y topes desde el hastial a la unión del poste, sombrero y tirante. Previa instalación de guardacabeza. <b>Tajo mecanizado:</b> Colocar pernos de fricción de 5 pies, espaciados de 1.0 m a 1.2 m más malla electro-soldada, opcionalmente shotcrete de 2 pulg de espesor.	
21-30	MALA "B"	IV-B	<b>Labores ≤ a 3.5 m x 3.5 m:</b> Cimbras metálicas espaciadas de 1.1 m a 1.5 m con planchas acanaladas y/o tablas de 3 pulg de espesor (en corona) y tablas de 3 pulg en hastiales espaciadas a 20 cm, topear y encribar. En las labores que forman la intersección espaciar de 0.8 m a 1.0 m. <b>En Subniveles, Chimeneas o Galerías,</b> cuadros de madera de 7 pulg a 9 pulg de diámetro, espaciados de 1.0 m a 1.2 m con enrejado (según evaluación geomecánica), encribado a la corona y topes desde el hastial a la unión del poste, sombrero y tirante. En las labores que forman la intersección espaciar de 0.6 m a 0.8 m. <b>Labores ≥ a 4.0 m x 4.0 m:</b> Cimbras metálicas espaciadas de 1.1 m a 1.3 m con planchas acanaladas topeados con bolsas de detritus o encribado. En intersecciones espaciar de 0.8 m a 1.0 m.	<b>Tajo convencional:</b> Colocar cuadros de madera de 7 pulg a 9 pulg de diámetro, espaciados de 1.0 m a 1.2 m encribado a la corona y topes desde el hastial a la unión del poste, sombrero y tirante. Previa instalación de guardacabeza. <b>Tajo mecanizado:</b> Cuadros de madera de 7 pulg a 9 pulg de diámetro, espaciados de 1.4 m a 1.6 m con enrejado (según evaluación geomecánica), encribado a la corona y topes desde el hastial a la unión del poste, sombrero y tirante.	
0-20	MUY MALA	V	<b>Labores ≤ a 3.5 m x 3.5 m:</b> Cimbras metálicas espaciadas de 0.8 m a 1.0 m con planchas acanaladas y/o tablas de 3 pulg de espesor (en corona) y tablas de 3 pulg en hastiales espaciadas a 20 cm. Topear y encribar. Previamente una capa de shotcrete de 1 pulg de espesor con 20 kg de fibra/m <sup>3</sup> o marchavantes con guardacabeza. En las labores que forman la intersección espaciar de 0.5 m a 0.7 m. <b>En Subniveles o Chimeneas,</b> cuadros de madera de 7 pulg a 9 pulg de diámetro, espaciados de 0.8 m a 1.0 m con enrejado (según evaluación geomecánica), encribado la corona y topes desde el hastial a la unión del poste, sombrero y tirante. Previamente una capa de shotcrete de 1 pulg de espesor con 20 kg de fibra/m <sup>3</sup> y/o marchavantes. En las labores que forman la intersección espaciar de 0.5 m a 0.7 m. <b>Labores ≥ a 4.0 m x 4.0 m:</b> Cimbras metálicas espaciadas de 0.8 m a 1.0 m con planchas acanaladas topeados con bolsas de detritus o encribado. Previamente una capa de shotcrete de 1 pulg de espesor con 20 kg de fibra/m <sup>3</sup> y/o marchavantes con guardacabeza. En las labores que forman la intersección espaciar de 0.5 m a 0.7 m.	<b>Tajo convencional:</b> Colocar cuadros de madera de 7 pulg a 9 pulg de diámetro, espaciado de 0.8 a 1.0 m encribado a la corona y topes desde el hastial a la unión del poste, sombrero y tirante. Previa instalación de guardacabeza. <b>Tajo mecanizado:</b> Cuadros de madera de 7 pulg a 9 pulg de diámetro, espaciado de 1.0 m a 1.2 m con enrejado (según evaluación geomecánica), encribado a la corona y topes desde el hastial a la unión del poste, sombrero y tirante. Previamente colocar marchavantes.	

Fuente: Departamento de Geomecánica Marsa.

### 4.3 Resistencia de la Roca

#### 4.3.1 Resistencia de la Roca intacta

Uno de los parámetros más importantes para evaluar el comportamiento mecánico de la masa rocosa es la resistencia compresiva uniaxial de la roca intacta ( $\sigma_c$ ) o denominada también UCS. Los valores de este parámetro fueron obtenidos utilizando los siguientes procedimientos:

- Según normas ISRM, efectuados durante el mapeo geomecánico de las paredes del macizo rocoso de las labores subterráneas
- Ensayos de Laboratorio de mecánica de rocas

En la tabla se muestran los resultados de los ensayos de compresión triaxial, propiedades elásticas, ensayo de compresión simple y ensayos de tracción directa, con los cuales se han obtenido: la resistencia a la compresión simple, resistencia a la tracción, valores de la constante "mi" del criterio de falla de Hoek & Brown (2002-2007), los parámetros de resistencia al corte de Mohr Coulomb:

cohesión y ángulo de fricción, el módulo de Young y el coeficiente de Poisson, todos estos parámetros correspondientes a la roca intacta.

**Tabla N° 15:** Resultado de los ensayos de compresión triaxial

<i>Litología</i>	$\sigma_c$ (MPa)	$\sigma_t$ (MPa)	$\gamma$ (MN/m <sup>3</sup> )	<i>mi</i>	<i>Ang. Fric. Interno</i> (°)	<i>Cohesion</i> (Mpa)	<i>Emi</i> (GPa)	<i>Poisson 'v'</i>
Granodiorita	120.19	7.01	0.027	26.23	56.03	19.68	11.87	0.3
Granito	88.31	4.39	0.027	15.3	48.45	17.82	8.93	0.31
Monzogranito	64.07	4.57	0.027	16.64	49.31	16.38	11.14	0.3
Diorita	93.96	6.51	0.027	19.35	52.08	19.82	10.25	0.3
Porfido	77.52	4.48	0.027	16.37	49.94	20.87	8.85	0.31
Filita	40.91	3.22	0.027	5.48	32.15	13.29	4.79	0.31
Granito II	105.13	7.41	0.027	13.53	47.09	20.07	7.55	0.31
Tonalita	38.27	2.68	0.027	8.06	39.14	9.07	4.97	0.32

**Fuente:** Laboratorio de Mecánica de Rocas - UNI.

#### 4.3.2 Resistencia de la masa rocosa

Para estimar los parámetros de resistencia de la masa rocosa, se utilizó el criterio de falla de Hoek & Brown (2002-2006), con el programa ROCDATA de Rocscience Inc. Para ello se tomaron los valores más representativos de los siguientes parámetros desarrollados en el presente estudio, como es la calidad de la masa rocosa involucrada con cada dominio estructural, la resistencia compresiva uniaxial de la roca intacta y la constante “mi” de la roca intacta.

El minado involucra el uso de relleno Hidráulico cuyas propiedades son: densidad de 1.53 g/cm<sup>3</sup>, compactación promedio de 94%, Módulo de deformación igual a 40 MPa, el valor de la cohesión es 0.06 MPa, el ángulo de fricción de 28.9° y un coeficiente de Poisson de 0.35. (ZER GEOSYSTEM PERU S.A.C., Setiembre del 2013)

En el siguiente cuadro se presentan los parámetros de resistencia de la masa rocosa.

**Tabla N° 16:** Propiedades de la Resistencia de la masa rocosa

Documento	GSI	Profundidad (m)	D	Litología	mb	S	a	Emr (GPa)	Emr (MPa)
I.G Profundizacion	44	1100	0.8	Granito	0.546	0.00021	0.509	3.992	3991.684
I.G Profundizacion	46	1100	0.8	Diorita	0.778	0.00028	0.508	4.620	4619.796
I.G Profundizacion	43	1100	0.8	Granodiorita	0.882	0.00018	0.509	4.010	4010.064
I.G Profundizacion	35	1100	0.8	Porfido	0.342	0.00005	0.516	2.228	2227.707
I.G Profundizacion	35	1100	0.8	Tonalita	0.168	0.00005	0.516	1.565	1565.238
I.G Profundizacion	42	1135	0.8	Granito	0.485	0.00015	0.510	3.558	3557.592
I.G Profundizacion	45	1135	0.8	Diorita	0.733	0.00024	0.508	4.361	4361.368
I.G Profundizacion	40	1135	0.8	Granodiorita	0.737	0.00011	0.511	3.374	3374.048
I.G Profundizacion	36	1135	0.8	Porfido	0.363	0.00006	0.515	2.360	2359.707
I.G Profundizacion	36	1135	0.8	Tonalita	0.179	0.00006	0.515	1.658	1657.985
I.G Profundizacion	42	1170	0.8	Granito	0.485	0.00015	0.510	3.558	3557.592
I.G Profundizacion	53	1170	0.8	Diorita	1.179	0.00081	0.505	6.912	6912.303
I.G Profundizacion	51	1170	0.8	Granodiorita	1.419	0.00060	0.505	6.356	6355.522
I.G Profundizacion	47	1170	0.8	Porfido	0.698	0.00033	0.507	4.445	4444.860
I.G Profundizacion	34	1170	0.8	Tonalita	0.159	0.00005	0.517	1.478	1477.680
I.G Profundizacion	47	1200	0.8	Granito	0.653	0.00033	0.507	4.744	4744.126
I.G Profundizacion	45	1200	0.8	Diorita	0.733	0.00024	0.508	4.361	4361.368
I.G Profundizacion	44	1200	0.8	Granodiorita	0.936	0.00021	0.509	4.248	4247.675
I.G Profundizacion	41	1200	0.8	Porfido	0.488	0.00013	0.511	3.147	3146.720
I.G Profundizacion	30	1200	0.8	Tonalita	0.125	0.00002	0.522	1.174	1173.763

Fuente: Elaboración Propia.

Dónde:  $\sigma_{mr}$ , resistencia del macizo rocoso;  $E_{mr}$ , módulo de deformación del macizo rocoso;  $mb$ ,  $s$  y  $a$  parámetros del criterio de rotura de Hoek. Los valores obtenidos nos permitirán realizar los análisis tenso-deformacionales del macizo ROCOSO.

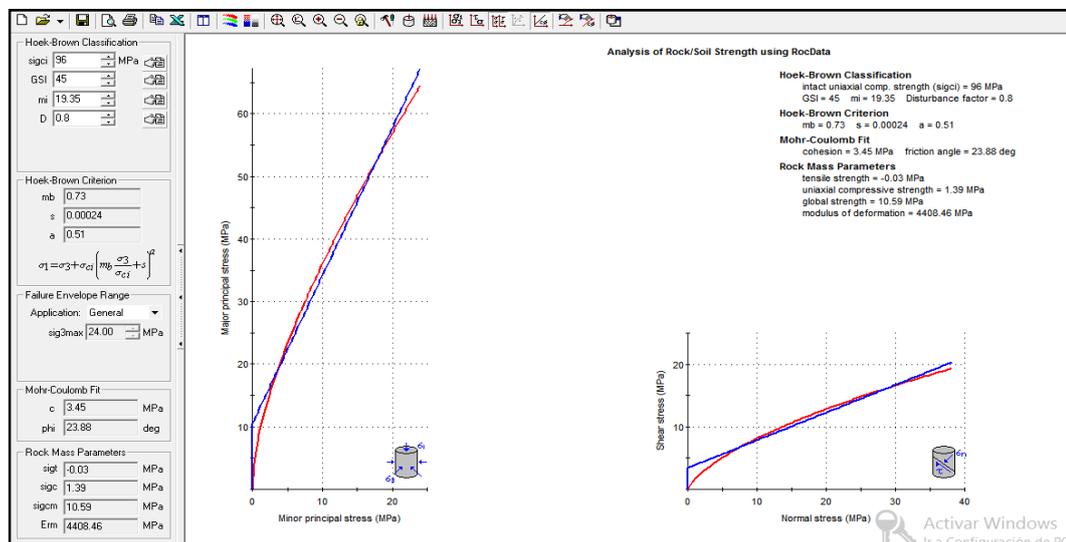


Figura N° 61: Propiedades mecánicas del macizo rocoso (Diorita).

Fuente: Rocscience Inc.

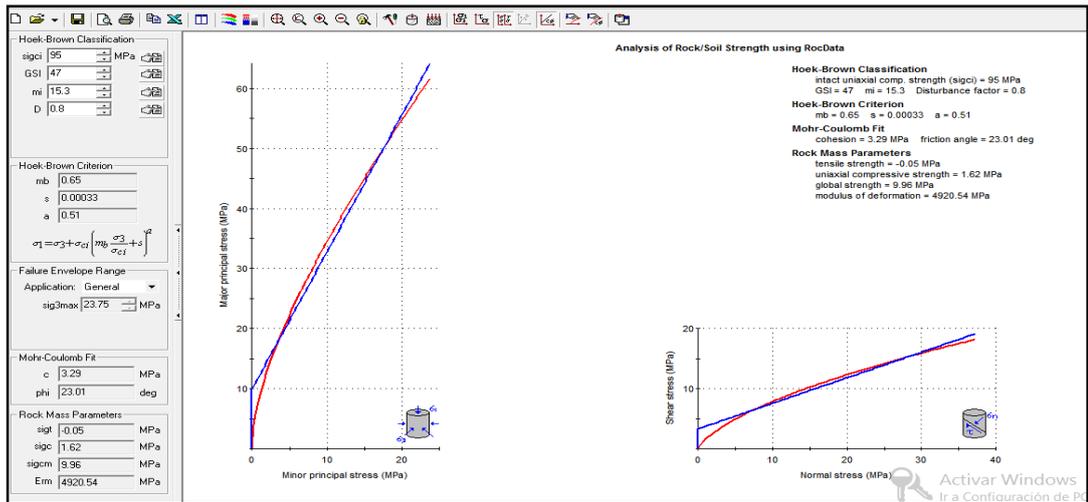


Figura N° 62: Propiedades mecánicas del macizo rocoso (Granito).

Fuente: Rocscience Inc.

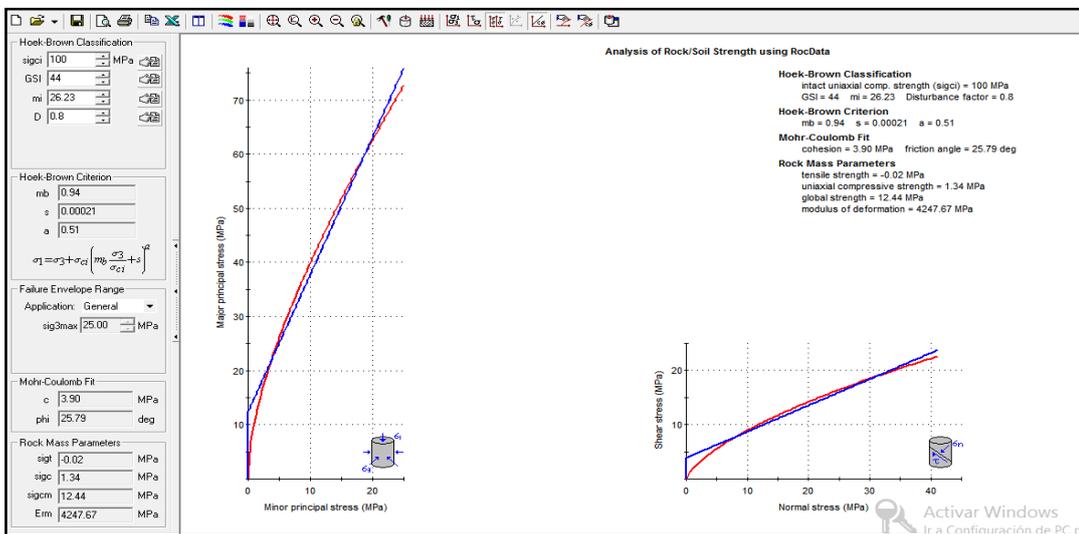


Figura N° 63: Propiedades mecánicas del macizo rocoso (Granodiorita).

Fuente: Rocscience Inc.

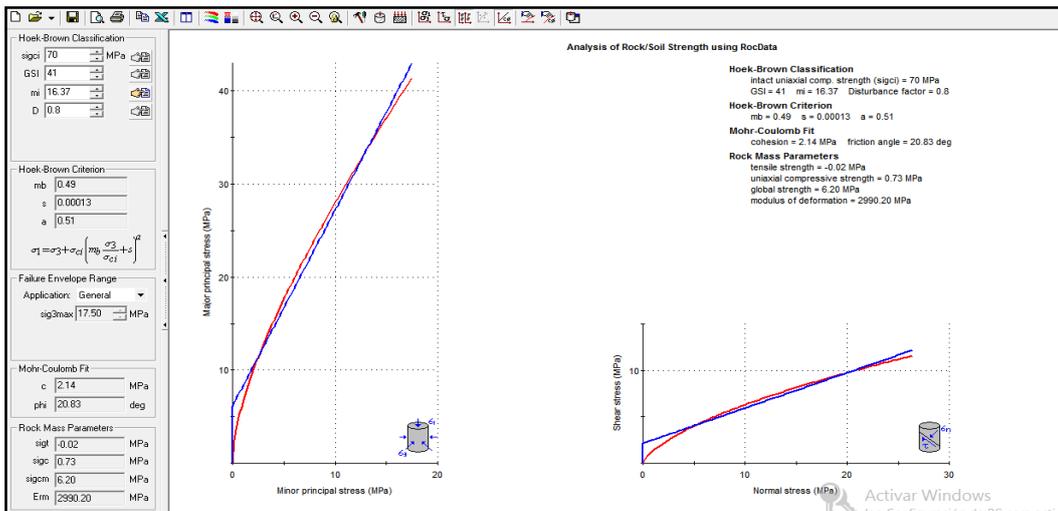
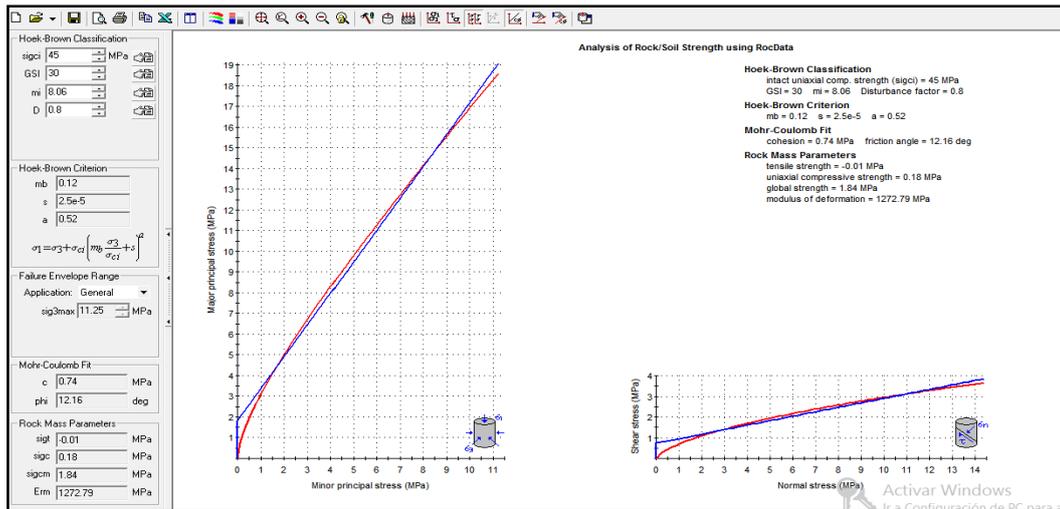


Figura N° 64: Propiedades mecánicas del macizo rocoso (Porfido Granitico).

Fuente: Rocscience Inc.



**Figura N° 65:** Propiedades mecánicas del macizo rocoso (Tonalita).  
**Fuente:** Rocscience Inc.

#### 4.4 Esfuerzos In-situ

Las labores de profundización, en su cota actual está con un encampane promedio de 1200 m. El peso de la columna vertical de roca que descansa sobre este elemento es el producto de la profundidad y la unidad de peso de la masa de roca suprayacente (típicamente alrededor de 2,7 toneladas/m<sup>3</sup> o 0.027 MN/m<sup>3</sup>). Por lo tanto, la tensión vertical sobre el elemento es 3240 ton/m<sup>2</sup> o 32.40 MPa.

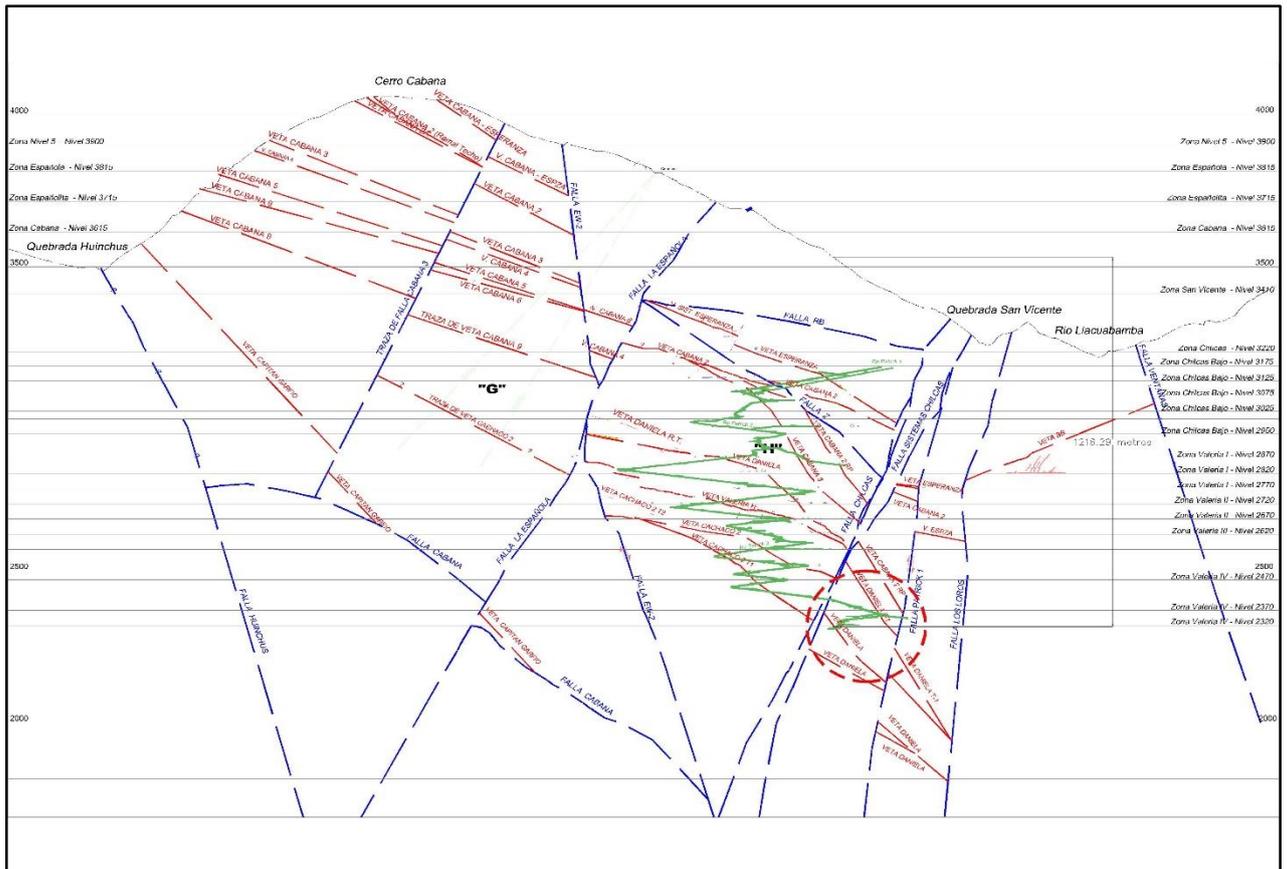
Para estimar la magnitud del esfuerzo vertical se ha utilizado el criterio de carga litostática de Hoek & Brown (1978), en el cual, el esfuerzo vertical es calculado a partir del peso unitario de la roca sobre-yacente y la profundidad debajo de la superficie. Para estimar el esfuerzo horizontal, es necesario conocer la constante “k” (factor de distribución de esfuerzos), dado que dicha constante indica la relación entre el esfuerzo horizontal y el esfuerzo vertical. En este caso, dadas las mediciones de esfuerzo tectónicos in-situ realizadas por el método de Overcoring, el valor de “k” será determinado mediante la siguiente aproximación:  $k = 0.5 + (1500/z)$  y el valor del esfuerzo vertical para el criterio de carga litostática:  $\sigma_V = 0.027 \cdot 0.13 \cdot z$ ; donde z es la profundidad.

Según este criterio, el esfuerzo vertical in-situ, para una profundidad aproximada de 1200m es de 4.21 MPa, se ha definido un coeficiente de distribución de esfuerzos: constante “k” = 1.75; finalmente, el esfuerzo in-situ horizontal estaría en el rango de 7.37 MPa. Cabe mencionar que el esfuerzo vertical es equivalente al esfuerzo principal menor ( $s_3$ ) y el esfuerzo horizontal equivalente al esfuerzo principal mayor ( $s_1$ ), de acuerdo a mediciones Over Coring realizadas en la Unidad, con una inclinación de 15° respecto a la horizontal para secciones en dirección NE-SW.

**Tabla N° 17: Esfuerzo principal mayor y menor.**

Documento	GSI	Profundidad (m)	D	Litología	mb	S	a	Emr (GPa)	Emr (MPa)	k	S3 = Sv	S1 = Sh	S2
I.G Profundizacion	44	1100	0.8	Granito	0.546	0.00021	0.509	3.992	3991.684	1.864	3.861	7.196	4.633
I.G Profundizacion	46	1100	0.8	Diorita	0.778	0.00028	0.508	4.620	4619.796	1.864	3.861	7.196	4.633
I.G Profundizacion	43	1100	0.8	Granodiorita	0.882	0.00018	0.509	4.010	4010.064	1.864	3.861	7.196	4.633
I.G Profundizacion	35	1100	0.8	Porfido	0.342	0.00005	0.516	2.228	2227.707	1.864	3.861	7.196	4.633
I.G Profundizacion	35	1100	0.8	Tonalita	0.168	0.00005	0.516	1.565	1565.238	1.864	3.861	7.196	4.633
I.G Profundizacion	42	1135	0.8	Granito	0.485	0.00015	0.510	3.558	3557.592	1.822	3.984	7.257	4.781
I.G Profundizacion	45	1135	0.8	Diorita	0.733	0.00024	0.508	4.361	4361.368	1.822	3.984	7.257	4.781
I.G Profundizacion	40	1135	0.8	Granodiorita	0.737	0.00011	0.511	3.374	3374.048	1.822	3.984	7.257	4.781
I.G Profundizacion	36	1135	0.8	Porfido	0.363	0.00006	0.515	2.360	2359.707	1.822	3.984	7.257	4.781
I.G Profundizacion	36	1135	0.8	Tonalita	0.179	0.00006	0.515	1.658	1657.985	1.822	3.984	7.257	4.781
I.G Profundizacion	42	1170	0.8	Granito	0.485	0.00015	0.510	3.558	3557.592	1.782	4.107	7.318	4.928
I.G Profundizacion	53	1170	0.8	Diorita	1.179	0.00081	0.505	6.912	6912.303	1.782	4.107	7.318	4.928
I.G Profundizacion	51	1170	0.8	Granodiorita	1.419	0.00060	0.505	6.356	6355.522	1.782	4.107	7.318	4.928
I.G Profundizacion	47	1170	0.8	Porfido	0.698	0.00033	0.507	4.445	4444.860	1.782	4.107	7.318	4.928
I.G Profundizacion	34	1170	0.8	Tonalita	0.159	0.00005	0.517	1.478	1477.680	1.782	4.107	7.318	4.928
I.G Profundizacion	47	1200	0.8	Granito	0.653	0.00033	0.507	4.744	4744.126	1.750	4.212	7.371	5.054
I.G Profundizacion	45	1200	0.8	Diorita	0.733	0.00024	0.508	4.361	4361.368	1.750	4.212	7.371	5.054
I.G Profundizacion	44	1200	0.8	Granodiorita	0.936	0.00021	0.509	4.248	4247.675	1.750	4.212	7.371	5.054
I.G Profundizacion	41	1200	0.8	Porfido	0.488	0.00013	0.511	3.147	3146.720	1.750	4.212	7.371	5.054
I.G Profundizacion	30	1200	0.8	Tonalita	0.125	0.00002	0.522	1.174	1173.763	1.750	4.212	7.371	5.054

Fuente: Elaboración Propia.



**Figura N° 66: Plano de encampane de la zona de profundización.**

Fuente: Departamento de Geomecánica Marsa.

## **4.5 Estabilidad estructuralmente controlada**

Es fundamental realizar un análisis de diseño para evaluar las condiciones de estabilidad de las excavaciones asociadas al minado, integrando toda la información desarrollada durante las investigaciones básicas.

Los análisis de estabilidad involucraron la investigación de los posibles mecanismos de falla de la masa rocosa circundante a las excavaciones, tomando en cuenta el arreglo estructural, las características de resistencia y la orientación de los esfuerzos principales.

### **4.5.1 Direcciones de avance de las excavaciones – Modo de falla**

Desde el punto de vista del arreglo estructural de la masa rocosa, para lograr mejores condiciones de estabilidad de las excavaciones, existen direcciones preferenciales en las cuales debe ser alineado el avance de estas excavaciones. Las condiciones más favorables para la estabilidad ocurren cuando las excavaciones avanzan en forma perpendicular a la orientación de las estructuras principales; de modo contrario, las condiciones más desfavorables para la estabilidad ocurren cuando las excavaciones avanzan en forma paralela a la orientación de las estructuras principales.

El sistema de discontinuidades dominante (Sistema 1), conformado por diaclasas coincide aproximadamente con el sistema de fallas con un rumbo aproximado N19°W-S19°E y buzamiento alto al SW, es decir, esta orientación es paralela a las estructuras mineralizadas. Luego, avanzar las excavaciones de manera paralela a las estructuras mineralizadas significará condiciones de estabilidad muy desfavorables, lo cual deberá ser tomado en cuenta para el sostenimiento de las labores mineras.

El segundo sistema de discontinuidades (Sistema 2), menos importante que el Sistema 1, conformado por diaclasas, tiene rumbo N68°E - S68°W y buzamiento al SE, es decir se presenta de manera perpendicular al rumbo de las estructurales mineralizadas. La alternativa de que las excavaciones sigan esta dirección de avance significará condiciones de estabilidad favorable.

### **4.5.2 Análisis de cuñas**

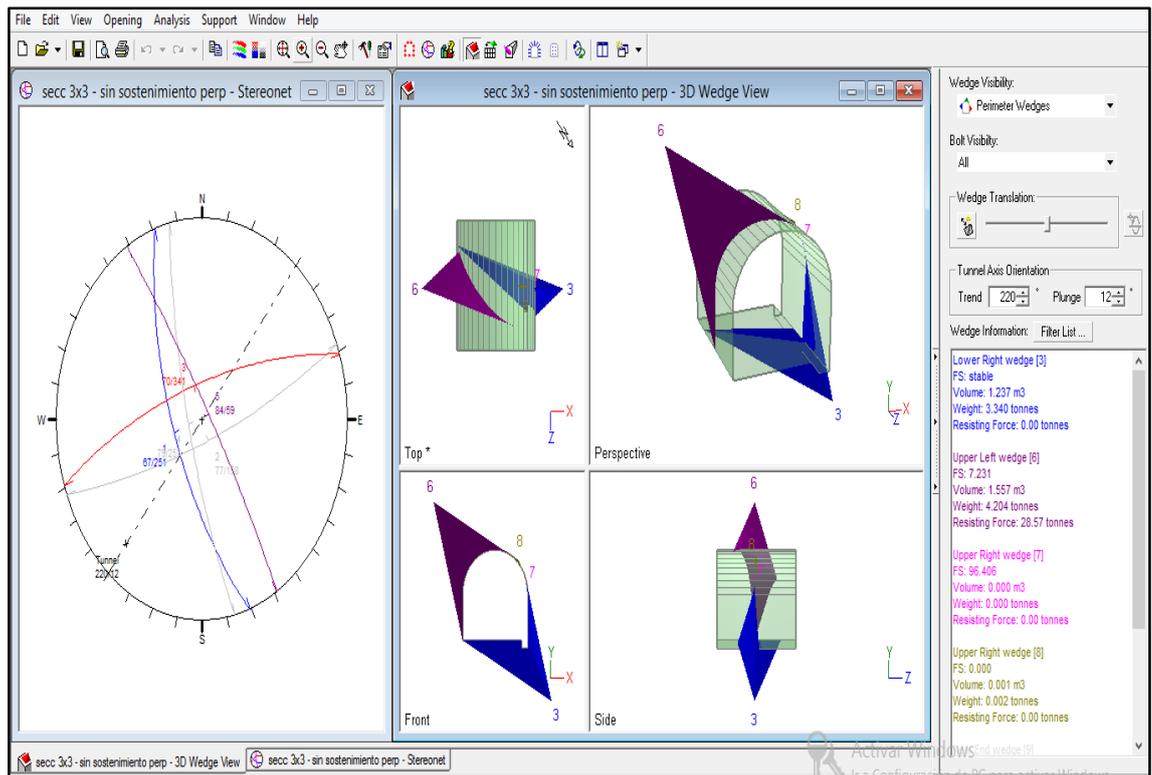
Las estructuras mineralizadas (vetas) se encuentran ubicadas a profundidades muy considerables, sobre los 1200 metros. En estas condiciones de excavación

es importante señalar lo siguiente, el comportamiento de estabilidad del macizo rocoso estará condicionado por la combinación del arreglo estructural, esfuerzos principales y la carga litostática.

La geometría tridimensional de las excavaciones en relación a la distribución espacial de las discontinuidades (fallas y diaclasas), constituyen planos de debilidad que condicionan la estabilidad del macizo rocoso. A este tipo de estabilidad se le denomina "estabilidad estructuralmente controlada". Los planos de debilidad pueden formar bloques rocosos de diferentes geometrías, en el techo y en las paredes de la excavación, presentando libertad para desprenderse por gravedad, deslizamiento o vuelco.

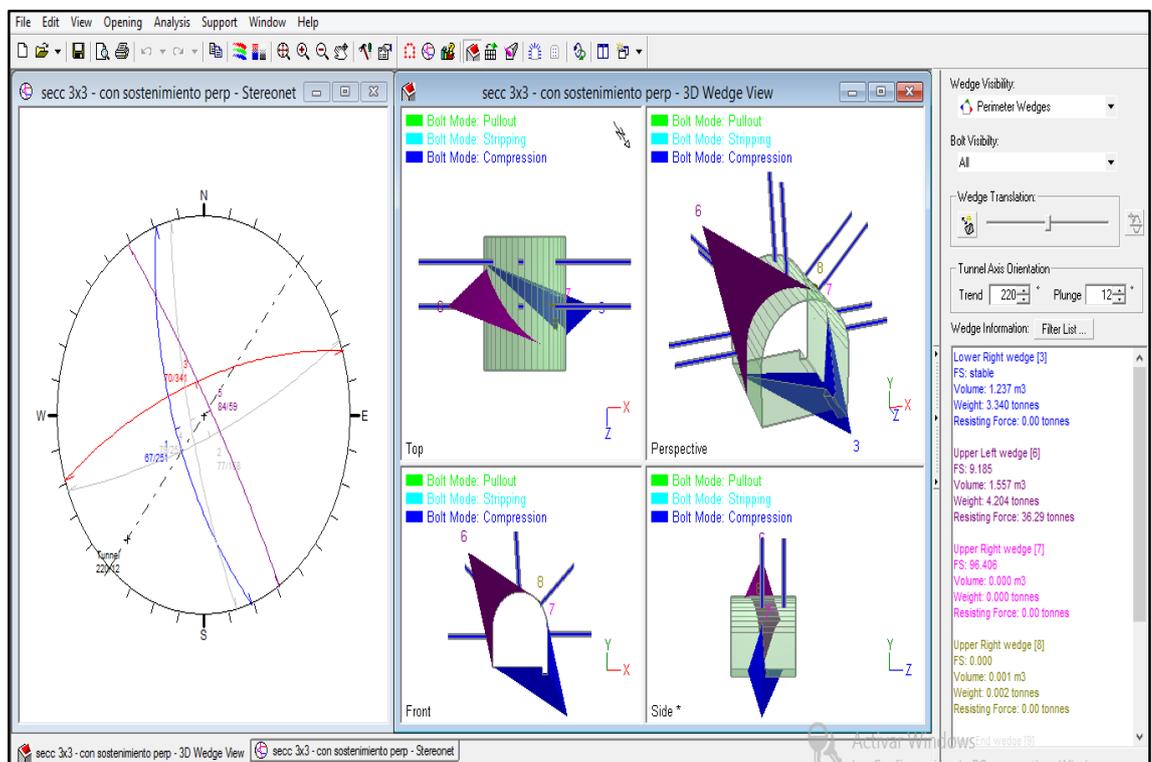
Con la finalidad de determinar el arreglo estructural del macizo rocoso, se ha realizado un análisis de estabilidad estructuralmente controlada, empleado la versión avanzada del programa de cómputo UNWEDGE de Rocscience Inc. elaborado por M.S. Diederichs y E. Hoek del Grupo de Ingeniería de Rocas del Departamento de Ingeniería Civil de la Universidad de Toronto (Canadá)

Para dicho análisis se ha considerado la información desarrollada en la distribución de discontinuidades. Además, se han considerado direcciones de avance de las excavaciones NW-SE o viceversa (paralelo al rumbo de la estructura mineralizada) y NE-SW o viceversa (perpendicular al rumbo de la estructura mineralizada).



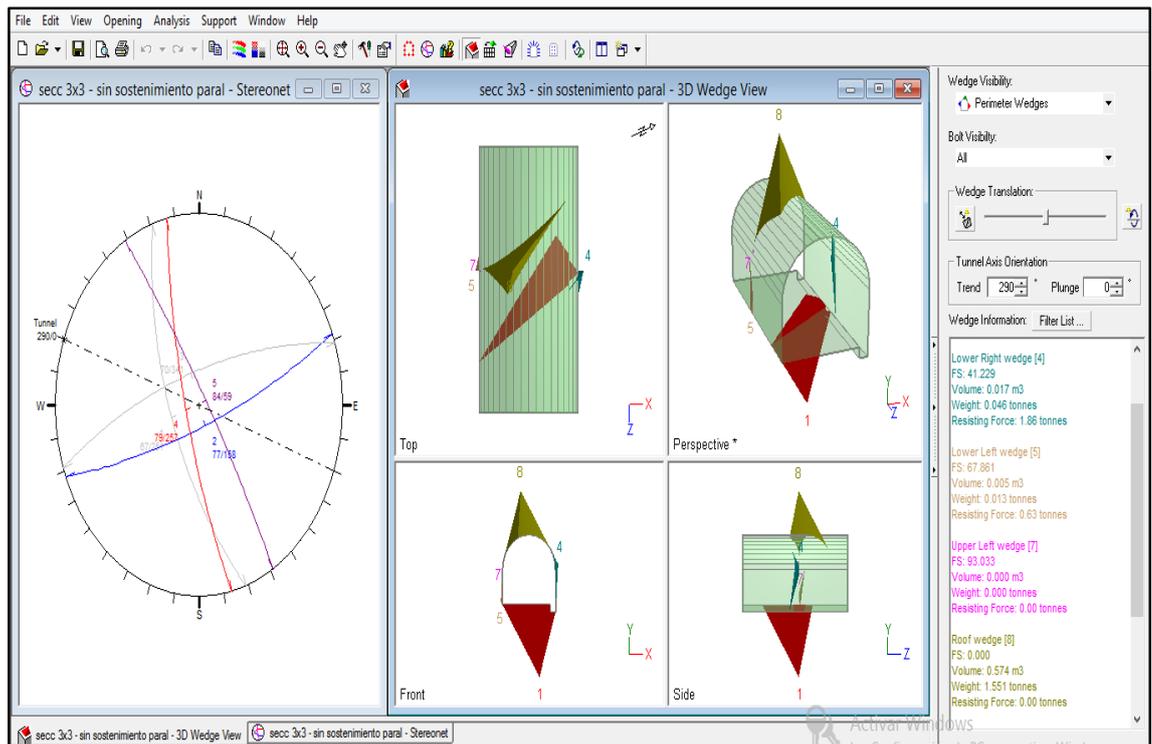
**Figura N° 67:** Análisis de estabilidad de cuñas en excavación perpendicular a la estructura mineralizada.

**Fuente:** Rocscience Inc.



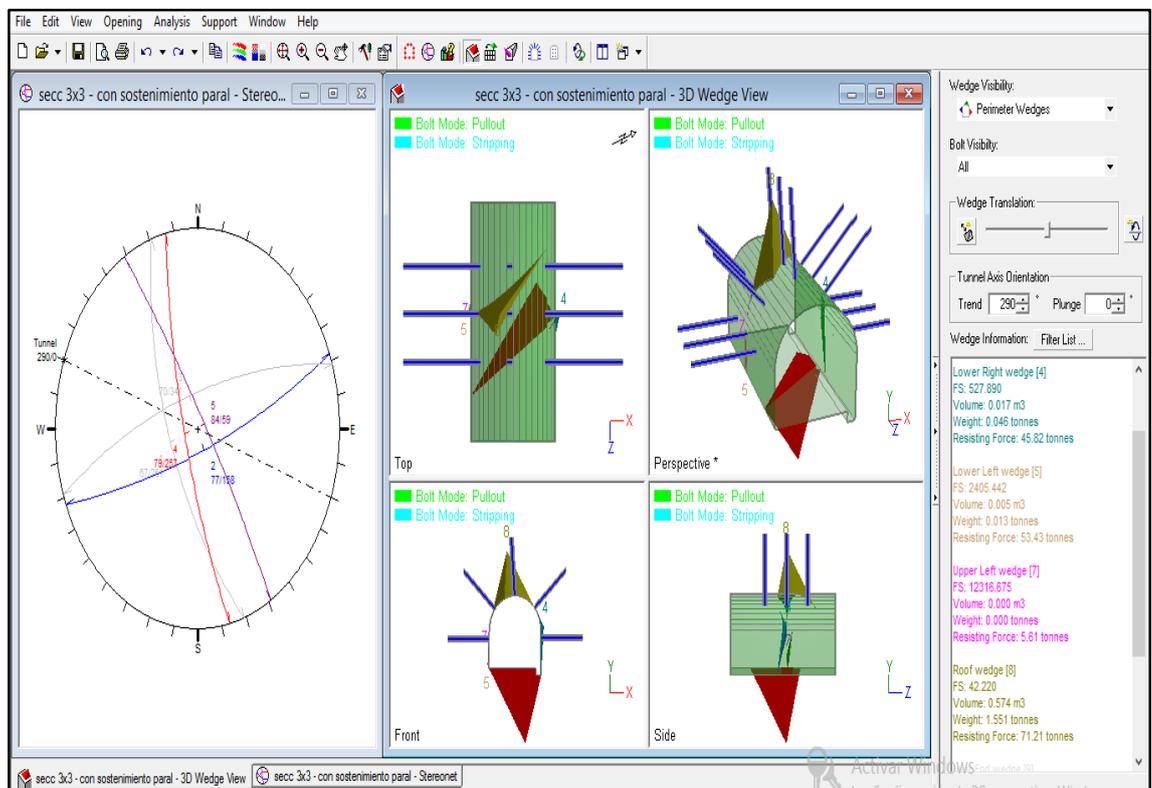
**Figura N° 68:** Sostenimiento en el análisis de estabilidad de cuñas en excavación perpendicular a la estructura mineralizada.

**Fuente:** Rocscience Inc.



**Figura N° 69:** Análisis de estabilidad de cuñas en excavación paralelo a la estructura mineralizada.

**Fuente:** Rocscience Inc.



**Figura N° 70:** Sostenimiento en el análisis de estabilidad de cuñas en excavación paralela a la estructura mineralizada.

**Fuente:** Rocscience Inc.

El análisis de estabilidad estructuralmente controlada determina lo siguiente:

- Para excavaciones con orientación de avance paralela al rumbo de la estructura mineralizada, se observa la formación de cuñas en la parte izquierda de la corona, el cual tiene un criterio de falla o desprendimiento por deslizamiento. Presenta cuñas de 4.20 toneladas, un volumen de 1.50 m<sup>3</sup> y un factor de seguridad de cero.
- Para excavaciones con orientación de avance perpendicular al rumbo de la estructura mineralizada, se observa la formación de cuñas en el centro de la corona, el cual tiene un criterio de falla o desprendimiento por gravedad. Presenta cuñas de 1.50 toneladas, un volumen de 0.57 m<sup>3</sup> y un factor de seguridad de cero.
- La estabilización de las cuñas en las labores paralelas a la estructura mineralizada puede realizarse utilizando malla electro-soldada más pernos de roca de 8 pies de longitud en bóveda y pernos de roca de 5 pies de longitud en hastiales, espaciados a 1.20 metros. Obteniendo un factor de seguridad de 9.
- La estabilización de las cuñas en las labores perpendiculares a la estructura mineralizada puede realizarse utilizando malla electro-soldada más pernos de roca de 6 pies de longitud en bóveda y pernos de roca de 5 pies de longitud en hastiales, espaciados a 1.20 metros. Obteniendo un factor de seguridad es de 42.
- Los resultados del análisis de estabilidad estructuralmente controlada se aplica para macizos rocosos de tipo III-A y III-B. En rocas de este dominio y con la formación de cuñas, se aplicará el control de sostenimiento con perno helicoidal más malla electro-soldada, según la orientación de la excavación.

#### **4.5.3 Estabilidad controlada por esfuerzos**

A fin de determinar el grado de estabilidad de las excavaciones asociadas al minado de la zona de profundización, se han realizado modelamientos numéricos de esfuerzo/deformación utilizando el método de elementos finitos elasto-plástico bidimensional, mediante el programa PHASE2 de Rocscience Inc.

Los citados modelamientos se han realizado utilizando todos los parámetros geomecánicos desarrollados en el presente estudio; con el objetivo de evaluar y determinar el comportamiento de estabilidad y analizar como el minado podría afectar a las labores aledañas y a los proyectos en ejecución. Cabe resaltar, que en la profundización se cuenta con diferentes condiciones geomecánicas debido a las características geomecánicas para cada dominio lito-estructural. Así mismo, la presencia de estructuras geológicas mayores influye notoriamente en el comportamiento del macizo rocoso alrededor de las excavaciones.

Los análisis realizados en este estudio han estado basados en la información que se ha tenido disponible, tomando secciones transversales en diferentes condiciones de minado.

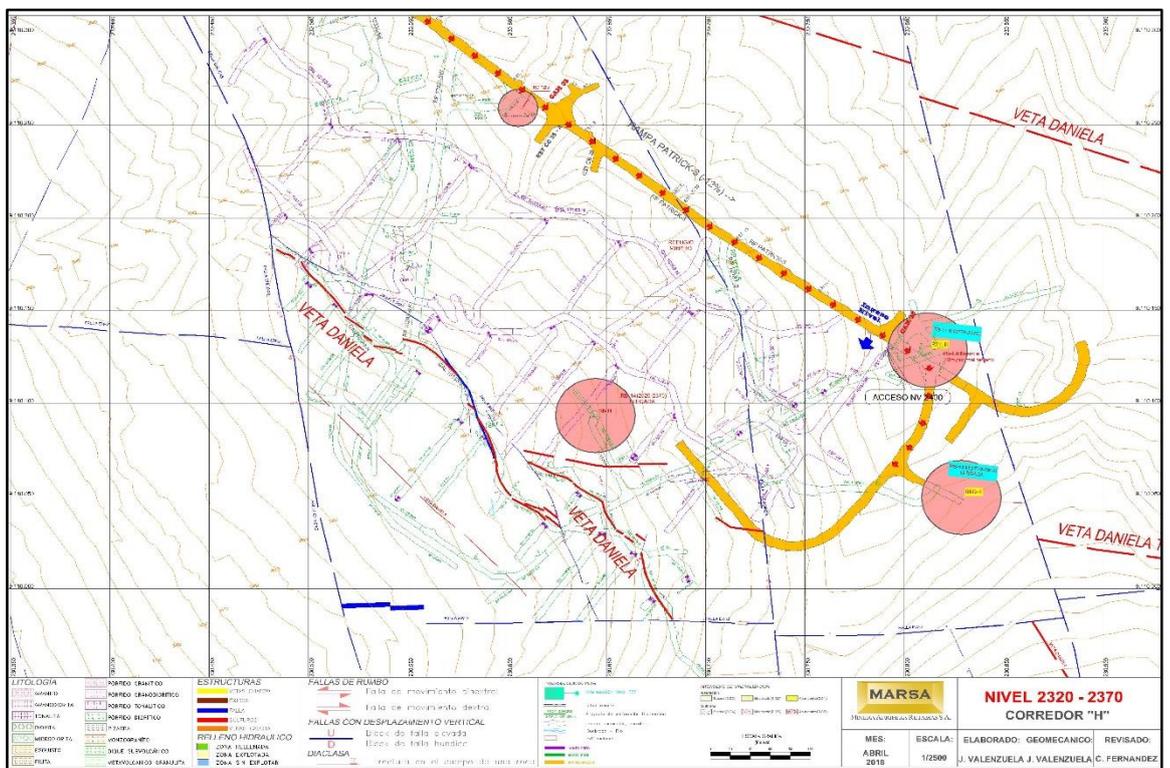
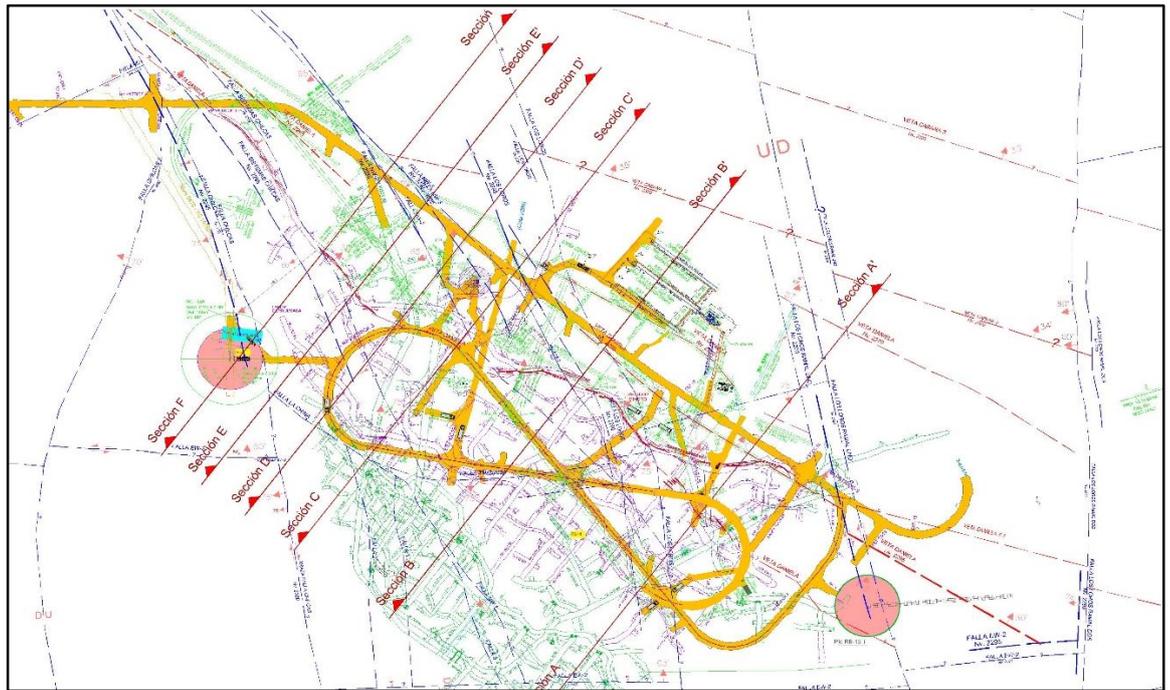


Figura N° 71: Plano de Nv. 2320-2370 para sección longitudinal.

Fuente: Departamento de Geomecánica Marsa.



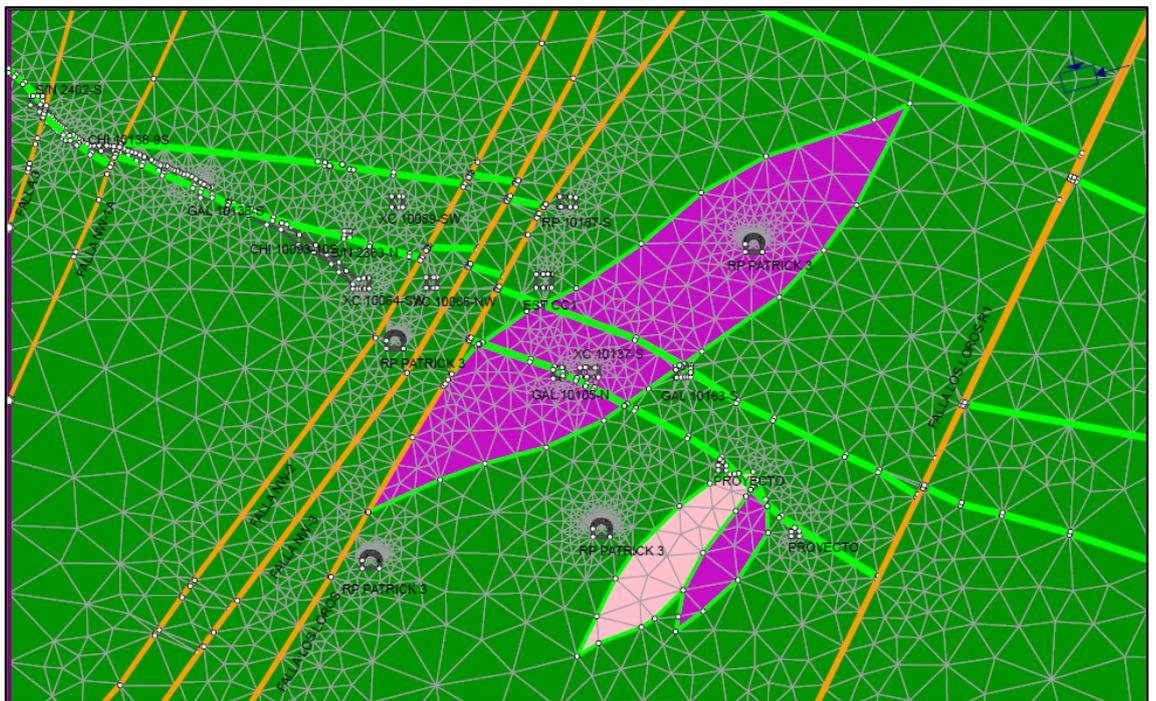
**Figura N° 72:** Plano de Cortes para Análisis Tenso-deformacional.  
**Fuente:** Departamento de Geomecánica Marsa.

#### 4.5.3.1 Sección A-A'

Los resultados de los modelamientos numéricos realizados para la Sección Longitudinal A-A', indican lo siguiente:

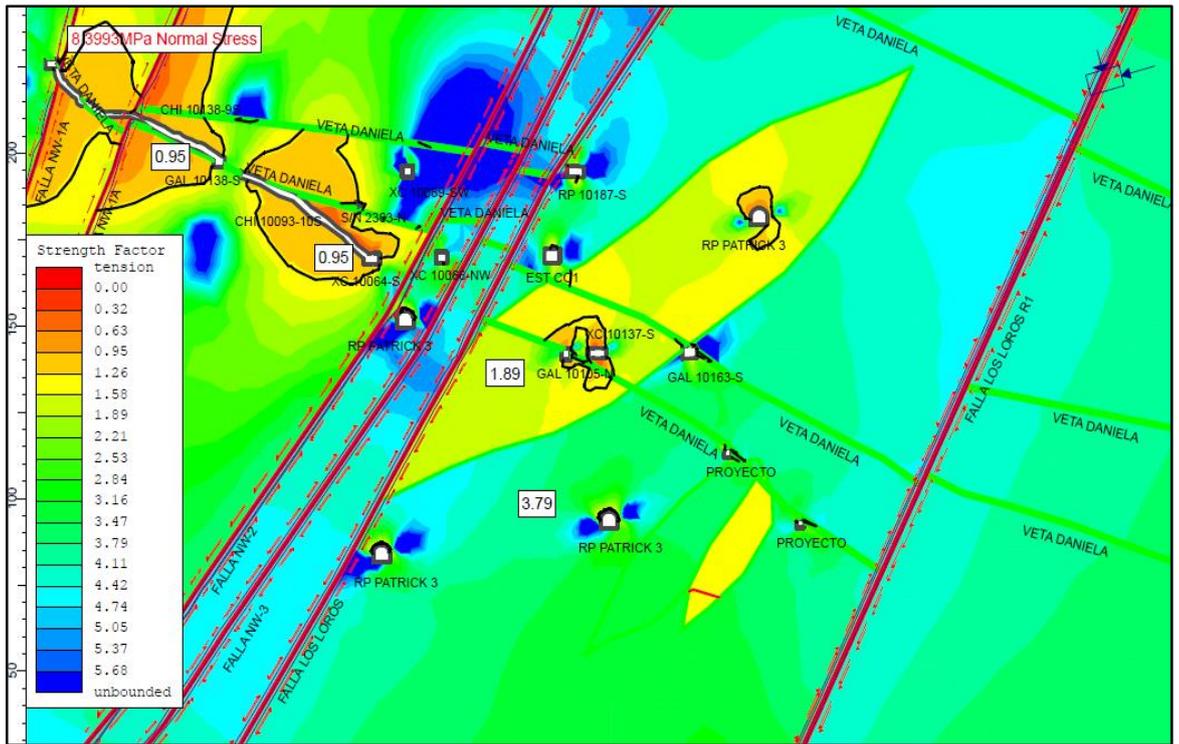
- El modelamiento tenso-deformacional sin excavación, bajo un control de distribución estructural y propiedades físico-mecánicas, presenta un Strength Factor promedio de 4.12 en el dominio litológico de la diorita, un Strength Factor promedio de 1.58 en el dominio litológico de Pórfido Tonalítico y un Strength Factor promedio de 2.84 en el dominio litológico de Pórfido Granítico.
- La CHI 10138-9S y la CHI 10093-10S, presenta un Strength Factor menor a 1.00, debido al proceso de explotación y las condiciones estructurales presentes como la activación de la Falla Los Loros y Falla E-W.
- Las extensiones de las zonas plásticas en las labores de explotación superan los 4 metros, en excavaciones de preparación – operación – exploración – desarrollo en litología diorita inferior a 1.20 metros y en pórfido tonalítico inferior a los 2.50 metros.

- En las labores base para el proceso de explotación como el XC 10064-SW se considerará agregar shotcrete definitivo al sostenimiento con perno más malla y en la GAL 10138-S se instalará cuadros de madera. En labores permanentes como RP 10187-SE el control de sostenimiento será con perno más malla y en la RP PATRICK 3 considerará agregar shotcrete definitivo al sostenimiento con perno más malla, ocasionalmente instalar cimbras en zonas condicionadas estructuralmente como la Falla Los Loros.
- En el análisis de esfuerzos, la trayectoria de los esfuerzos presenta mayor concentración en la corona de la RP PATRICK 3 y las labores superiores a 4.00x4.00 metros. En labores de explotación la concentración se da en la labor base. El esfuerzo mayor promedio es de 15 MPa
- En el análisis de deformación, el vector de deformación presenta mayor concentración en las labores de explotación, por lo cual presenta mayor zona plástica.



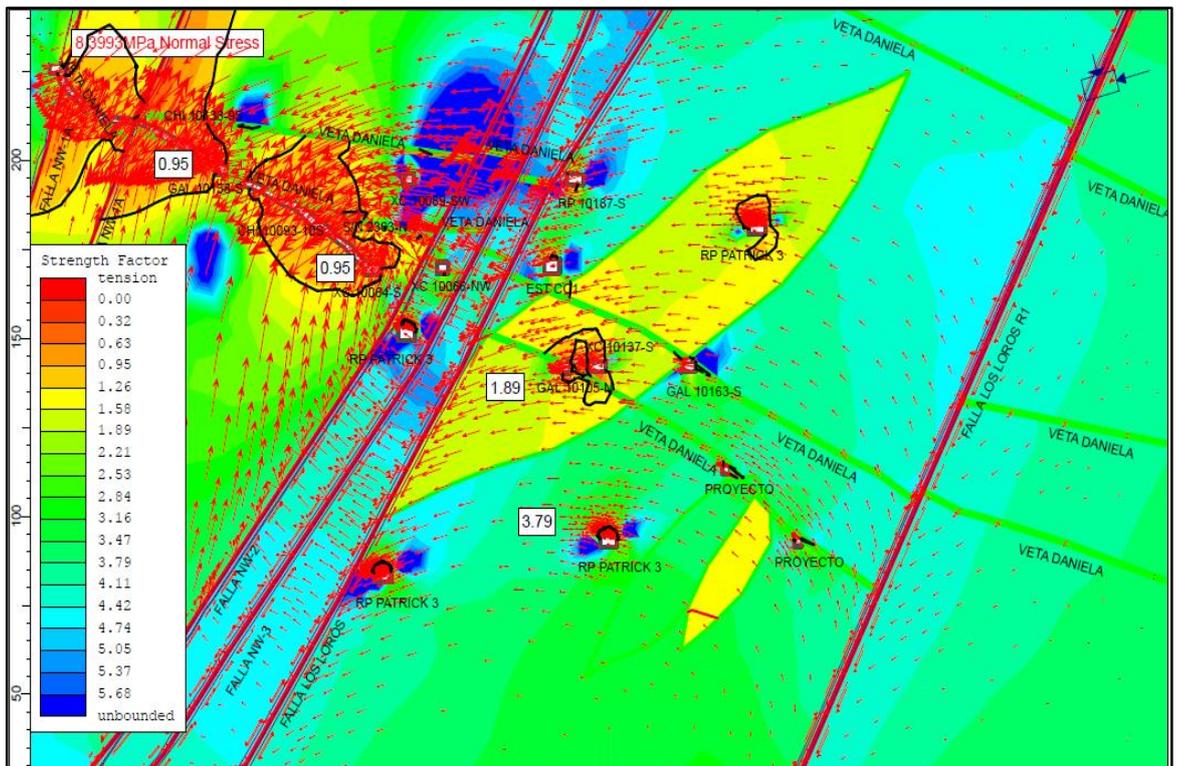
**Figura N° 73:** Sección Transversal Geológica Corte A-A.

**Fuente:** Rocscience Inc.



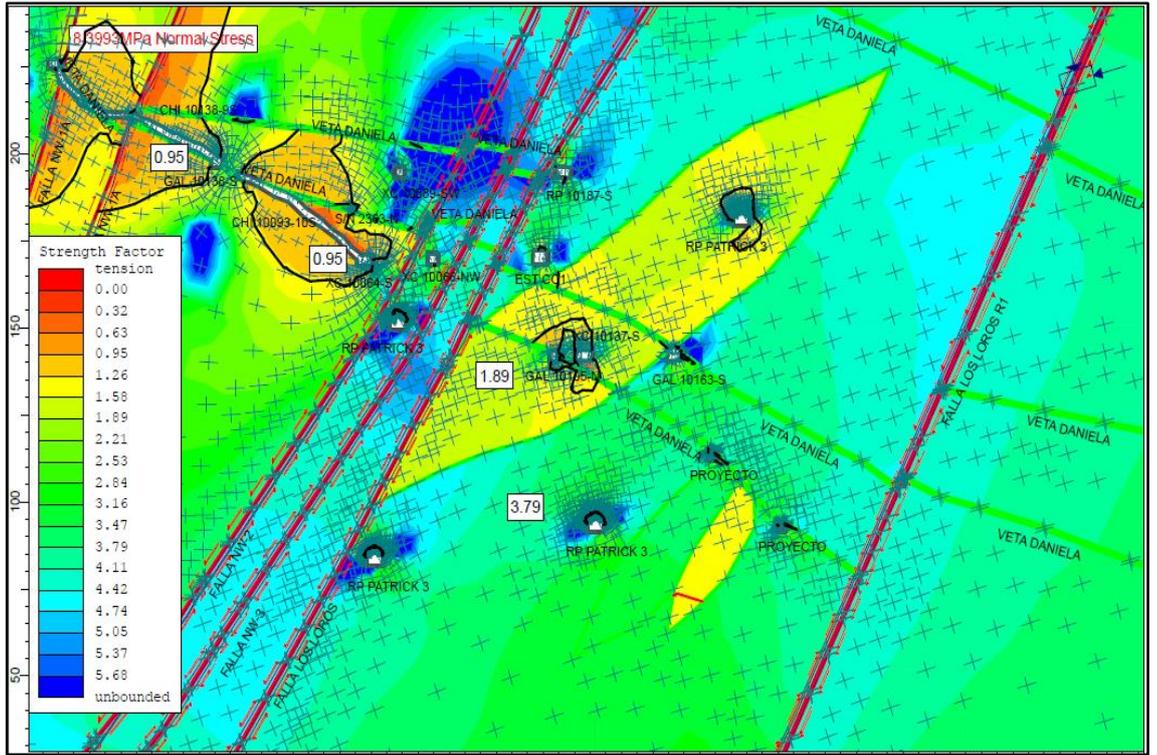
**Figura N° 74:** Factor de Seguridad - Simulación del Minado Corte A-A.

**Fuente:** Rocscience Inc.

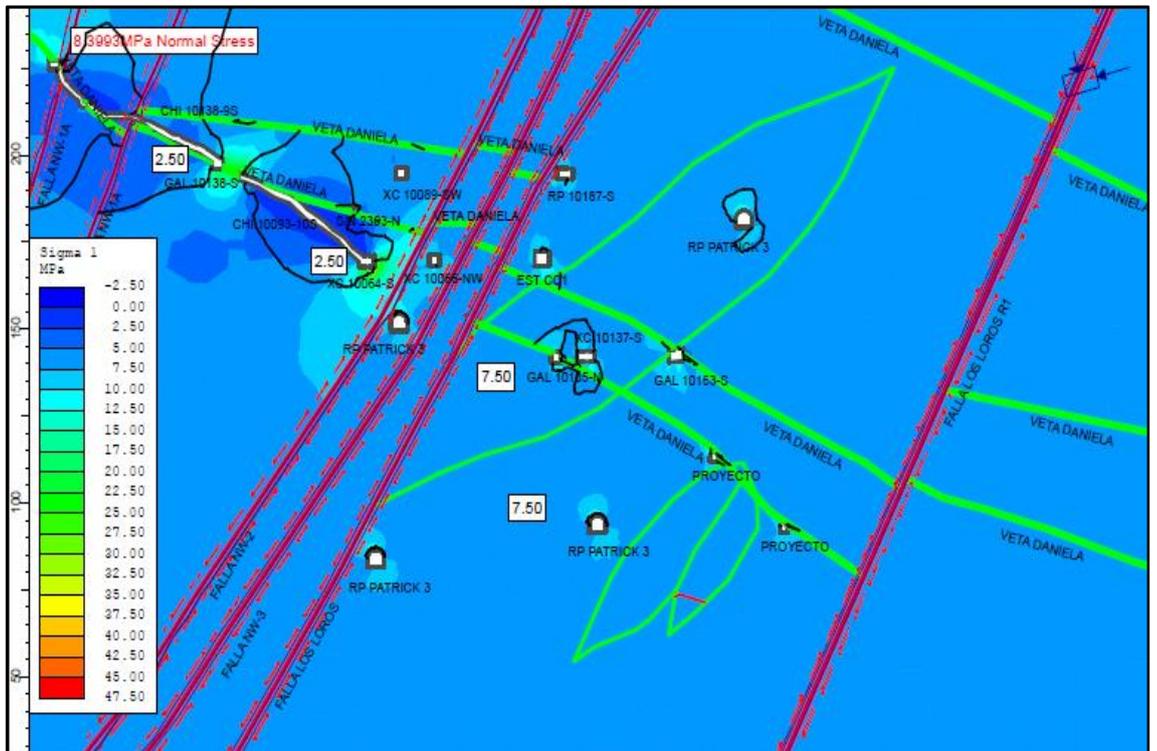


**Figura N° 75:** Vector de deformación - Simulación del Minado Corte A-A.

**Fuente:** Rocscience Inc.



**Figura N° 76:** Trayectorias de Esfuerzo - Simulación del Minado Corte A-A.  
**Fuente:** Rocscience Inc.



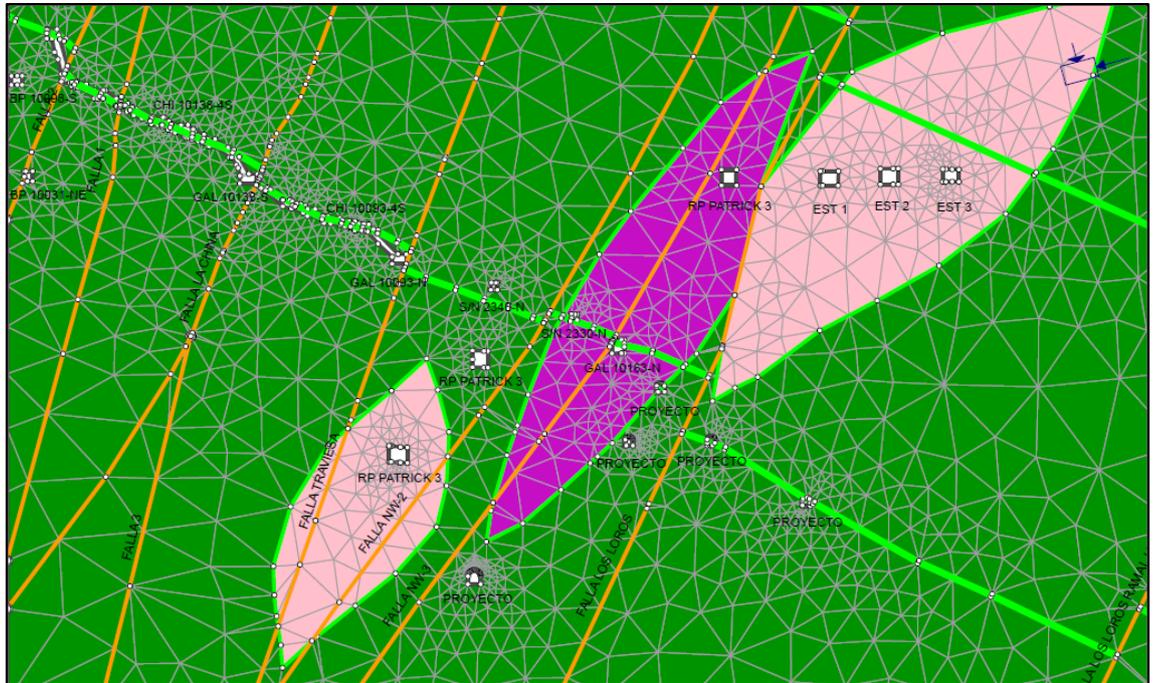
**Figura N° 77:** Esfuerzo Mayor - Simulación del Minado Corte A-A.  
**Fuente:** Rocscience Inc.

#### 4.5.3.2 Sección B-B'

Los resultados de los modelamientos numéricos realizados para la Sección Longitudinal B-B', indican lo siguiente:

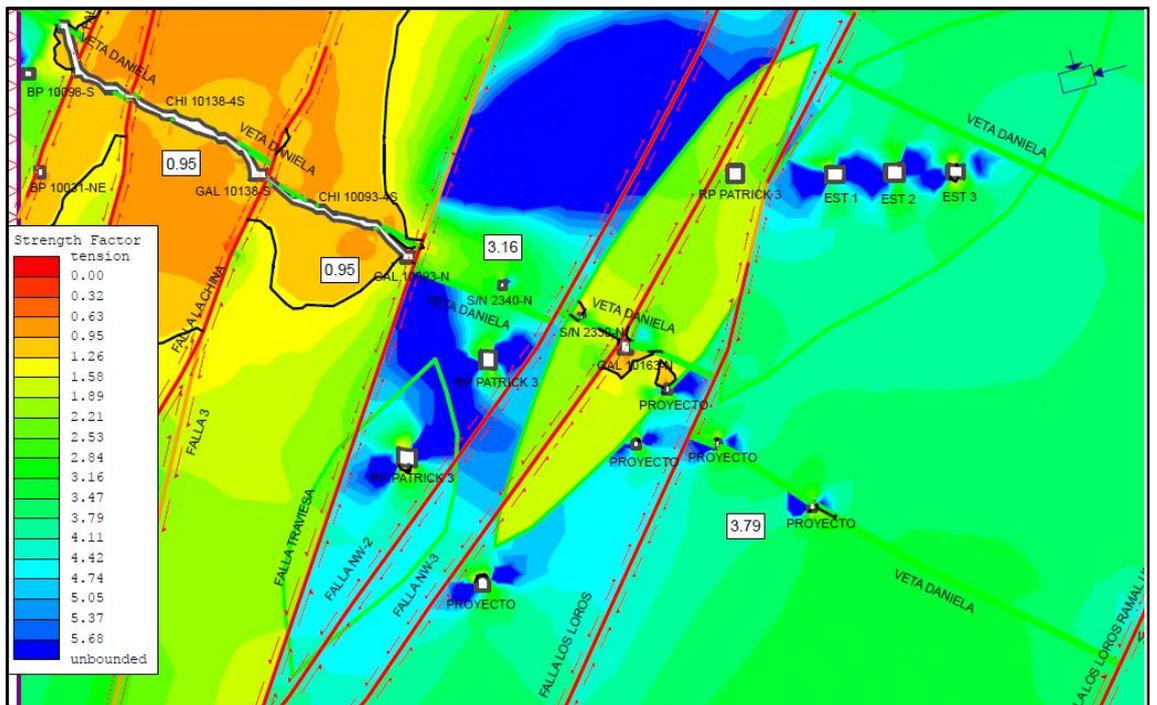
- El modelamiento tenso-deformacional sin excavación, bajo un control de distribución estructural y propiedades físico-mecánicas, presenta un Strength Factor promedio de 4.30 en el dominio litológico de la diorita, un Strength Factor promedio de 1.70 en el dominio litológico de Pórfido Tonalítico y un Strength Factor promedio de 3.65 en el dominio litológico de Pórfido Granítico.
- La CHI 10093-4S y la CHI 10138-4S, presenta un Strength Factor menor a 1.00, debido al proceso de explotación y las condiciones estructurales presentes como la activación de la Falla La China y Falla Traviesa.
- Las extensiones de las zonas plásticas en las labores de explotación superan los 4.50 metros, en excavaciones de preparación – operación – exploración – desarrollo en litología diorita inferior a 1.50 metros, en pórfido tonalítico inferior a los 2.50 metros y en pórfido granítico inferior a los 1.00 metros.
- En las labores base para el proceso de explotación como GAL 10093-N, GAL 10138-S, se considerará agregar shotcrete definitivo al sostenimiento con perno más malla y ocasionalmente se instalará cuadros de madera. En labores permanentes como EST para cámaras de bombeo se considerará agregar shotcrete definitivo al sostenimiento con perno más malla y de igual manera en la RP PATRICK 3, ocasionalmente instalar cimbras en zonas condicionadas estructuralmente como la Falla Los Loros.
- En el análisis de esfuerzos, la trayectoria de los esfuerzos presenta mayor concentración en la corona de los proyectos a ejecutarse y la RP PATRICK 3, las cuales son labores superiores a 4.00x4.00 metros. En labores de explotación la concentración se da en la labor base. El esfuerzo mayor promedio es de 8 MPa

- En el análisis de deformación, el vector de deformación presenta mayor concentración en las labores de explotación, por lo cual presenta mayor zona plástica.



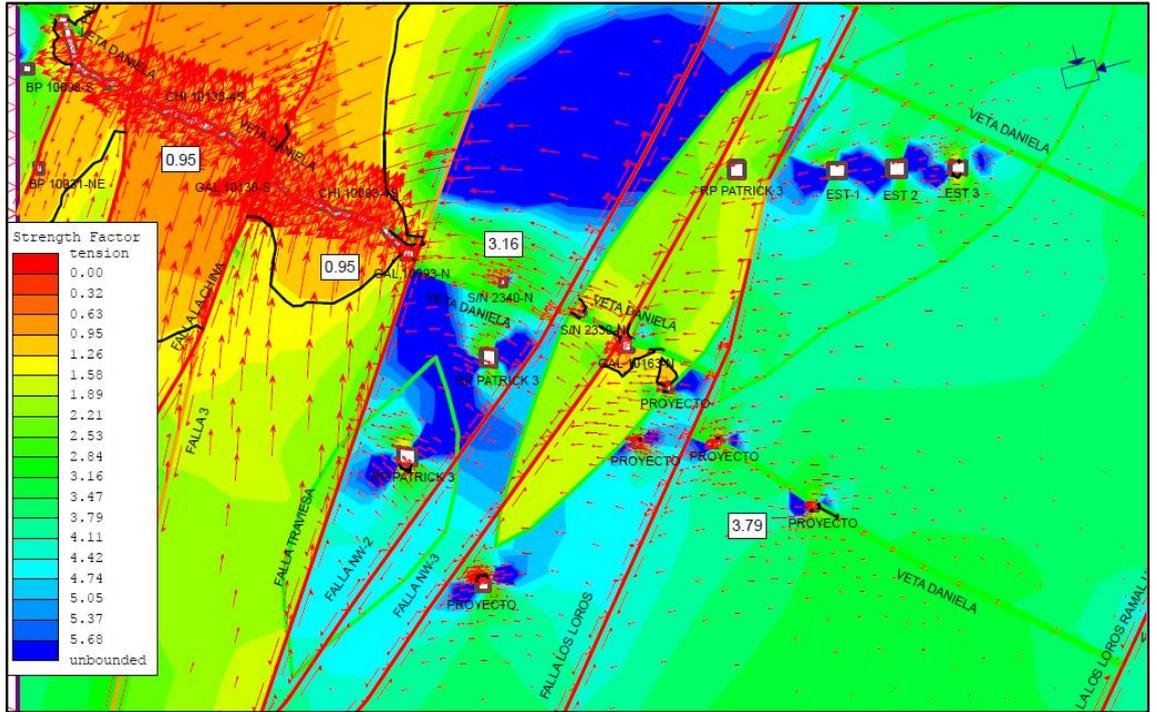
**Figura N° 78:** Sección Transversal Geológica Corte B-B.

**Fuente:** Rocscience Inc.

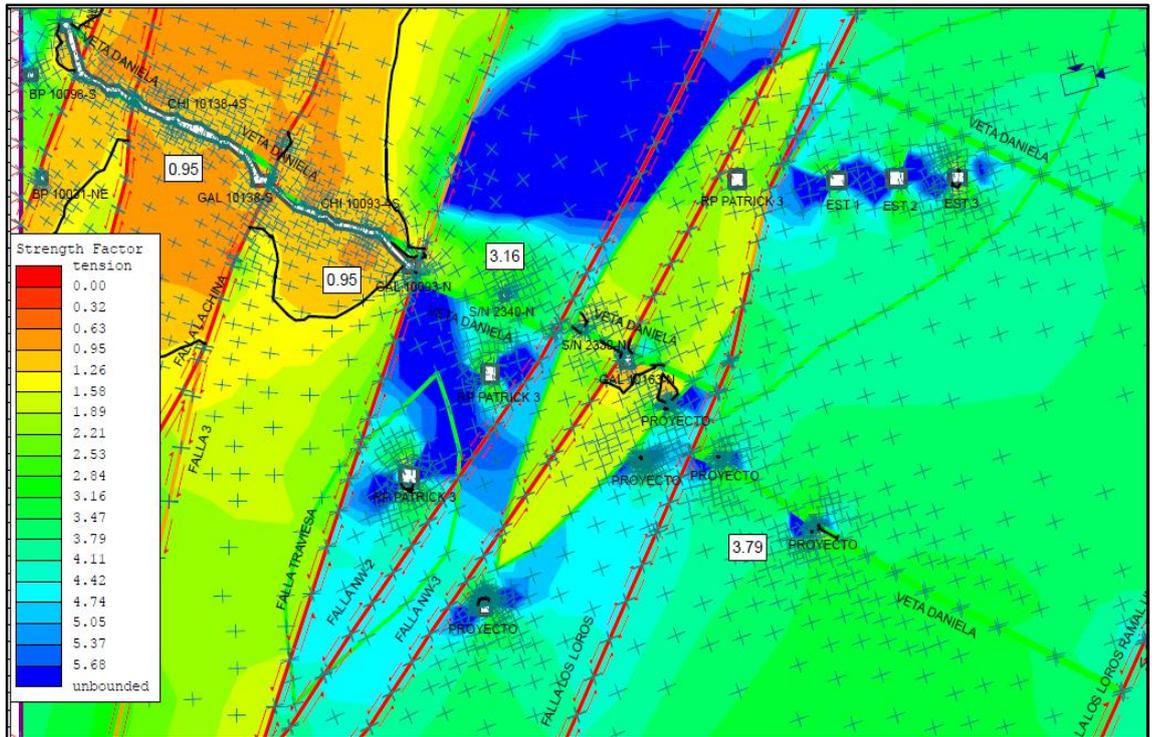


**Figura N° 79:** Factor de Seguridad - Simulación del Minado Corte B-B.

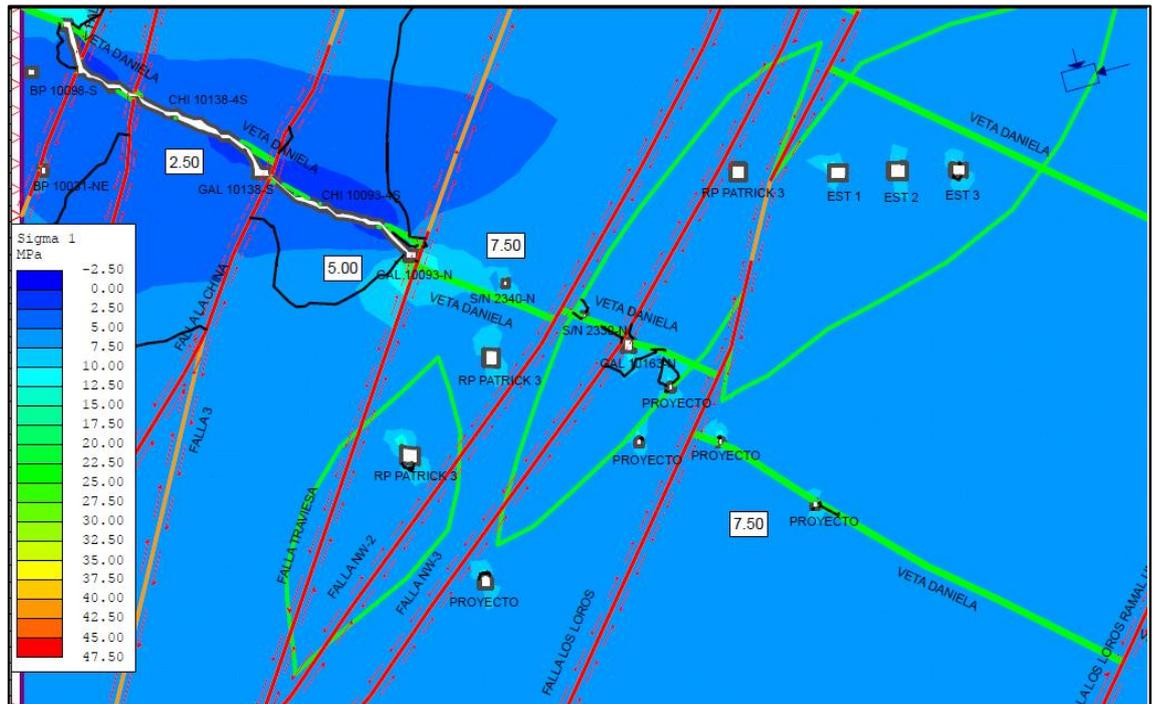
**Fuente:** Rocscience Inc.



**Figura N° 80:** Vector de deformación - Simulación del Minado Corte B-B.  
**Fuente:** Rocscience Inc.



**Figura N° 81:** Trayectorias de Esfuerzo - Simulación del Minado Corte B-B.  
**Fuente:** Rocscience Inc.



**Figura N° 82:** Esfuerzo Mayor - Simulación del Minado Corte B-B.

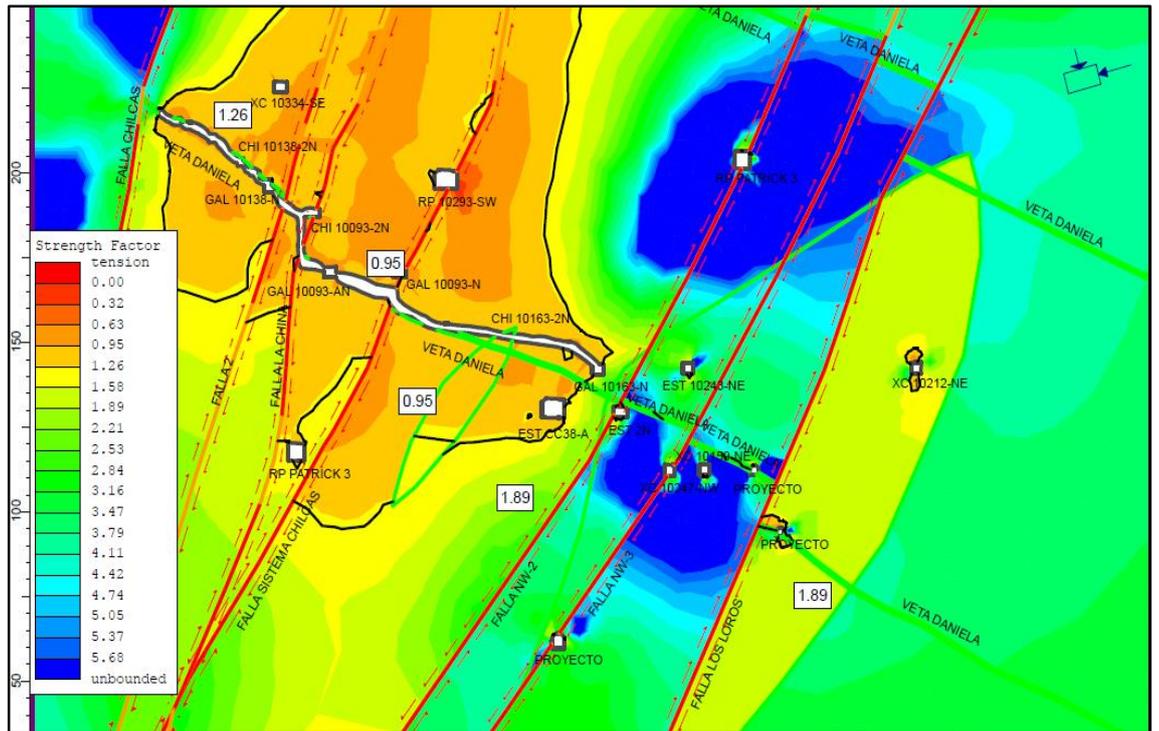
**Fuente:** Rocscience Inc.

#### 4.5.3.3 Sección C-C'

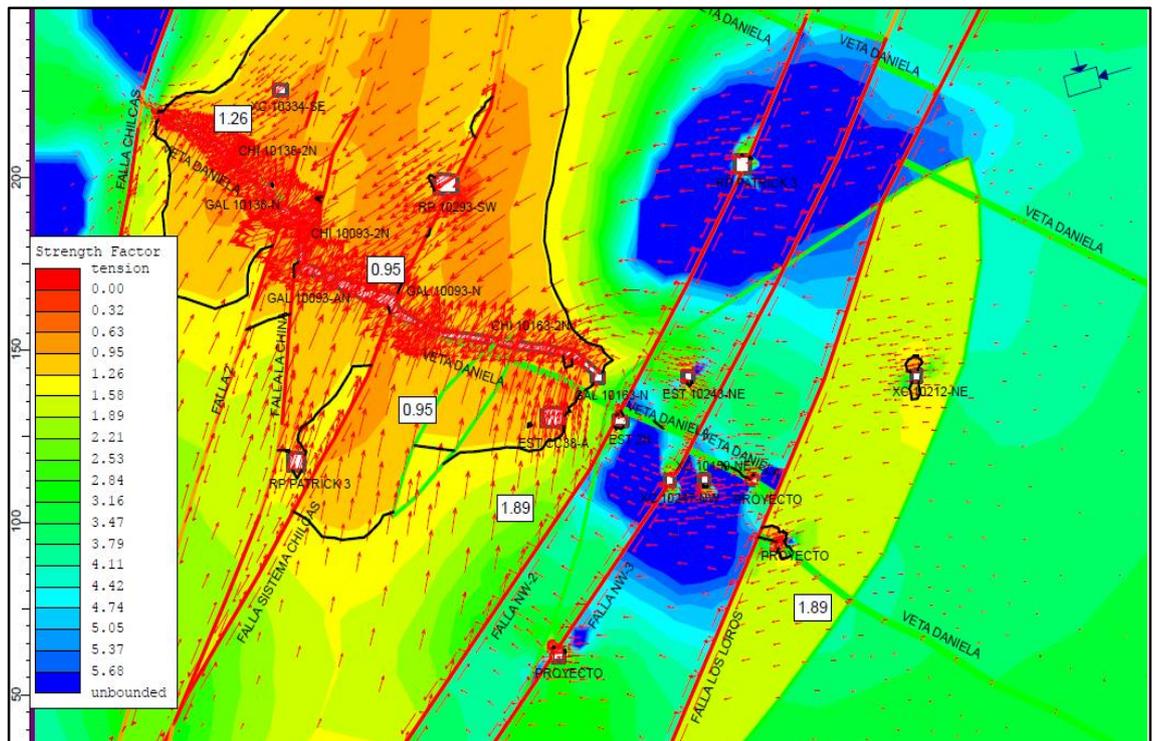
Los resultados de los modelamientos numéricos realizados para la Sección Longitudinal C-C', indican lo siguiente:

- El modelamiento tenso-deformacional sin excavación, bajo un control de distribución estructural y propiedades físico-mecánicas, presenta un Strength Factor promedio de 4.16 en el dominio litológico de la diorita, un Strength Factor promedio de 1.57 en el dominio litológico de Pórfido Tonalítico, un Strength Factor promedio de 4.39 en el dominio litológico de Pórfido Granítico y un Strength Factor promedio de 4.05 en el dominio litológico de Granito.
- La CHI 10163-2N, CHI 10093-2N y la CHI 10138-2N, presenta un Strength Factor menor a 1.00, debido al proceso de explotación y las condiciones estructurales presentes como la activación de la Falla Chilcas y Falla Sistema Chilcas.
- Las extensiones de las zonas plásticas en las labores de explotación superan los 5.00 metros, en excavaciones de preparación – operación – exploración – desarrollo en litología diorita inferior a 2.00

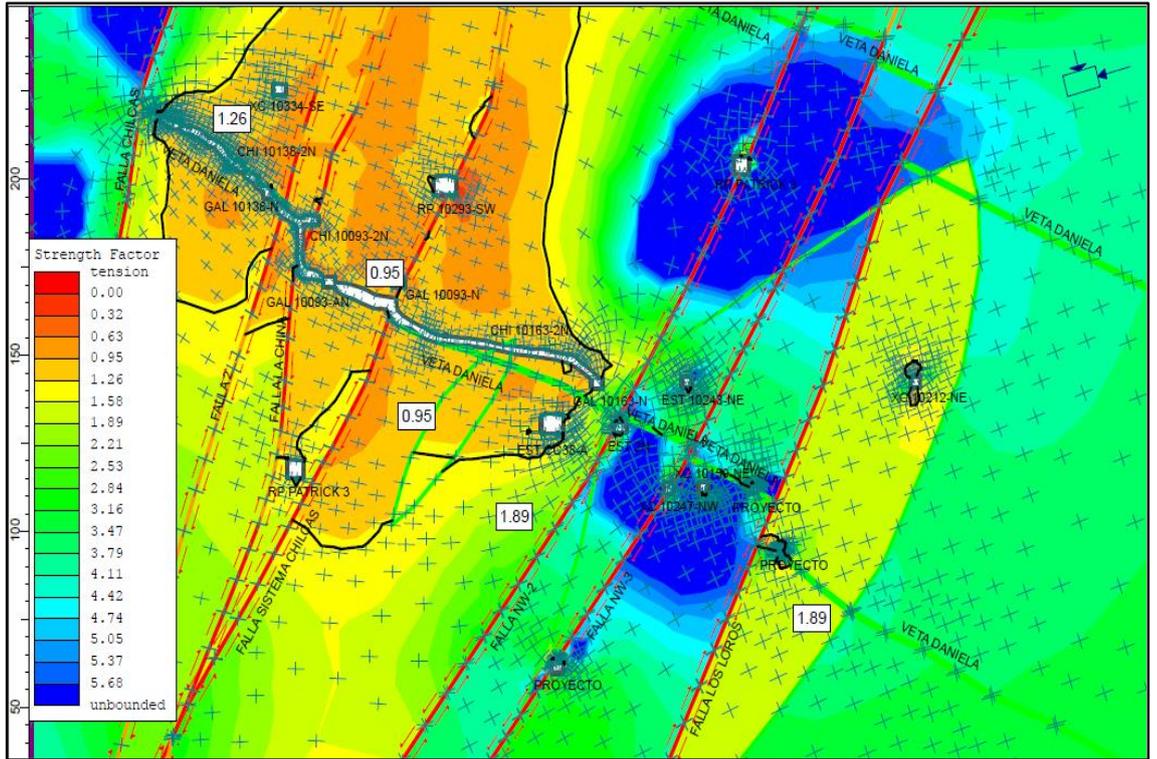




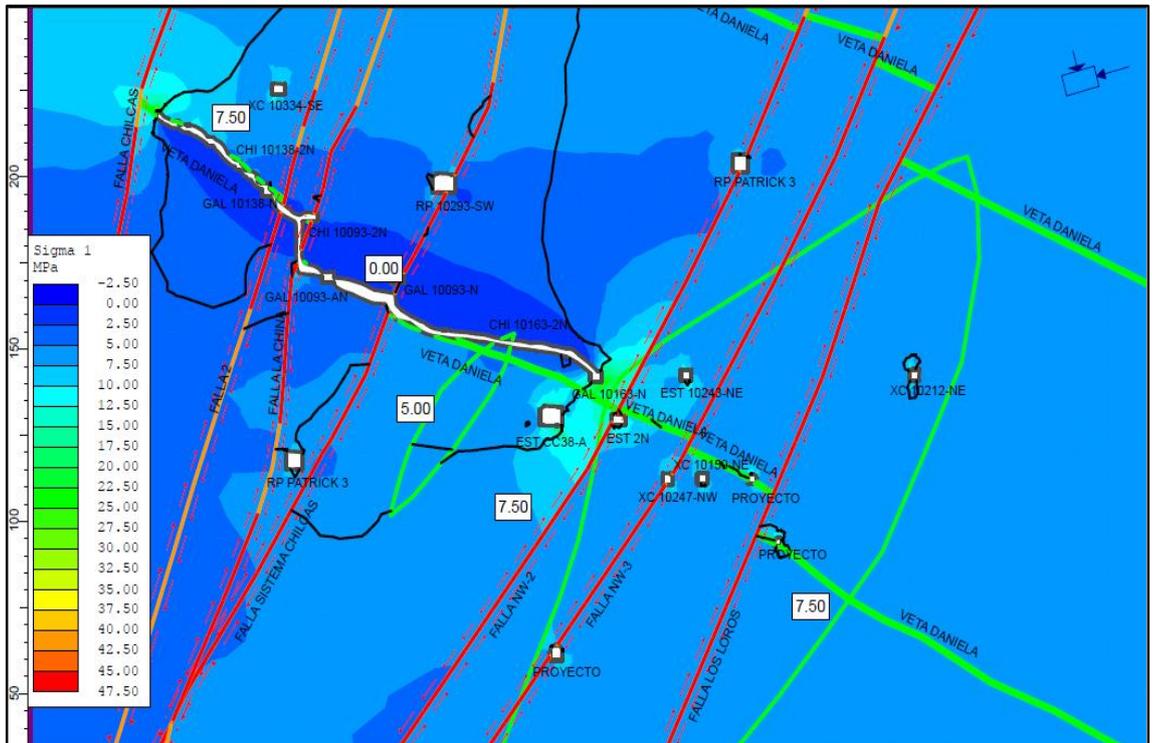
**Figura N° 84:** Factor de Seguridad - Simulación del Minado Corte C-C.  
**Fuente:** Rocscience Inc.



**Figura N° 85:** Vector de deformación - Simulación del Minado Corte C-C.  
**Fuente:** Rocscience Inc.



**Figura N° 86:** Trayectorias de Esfuerzo - Simulación del Minado Corte C-C.  
**Fuente:** Rocscience Inc.



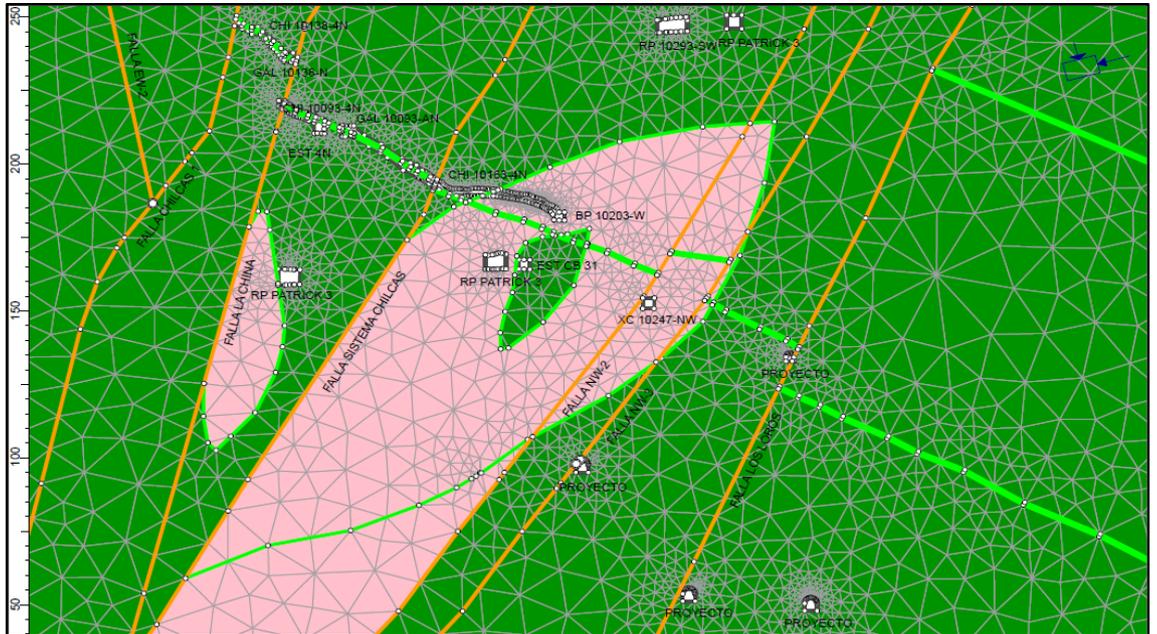
**Figura N° 87:** Esfuerzo Mayor - Simulación del Minado Corte C-C.  
**Fuente:** Rocscience Inc.

#### 4.5.3.4 Sección D-D'

Los resultados de los modelamientos numéricos realizados para la Sección Longitudinal D-D', indican lo siguiente:

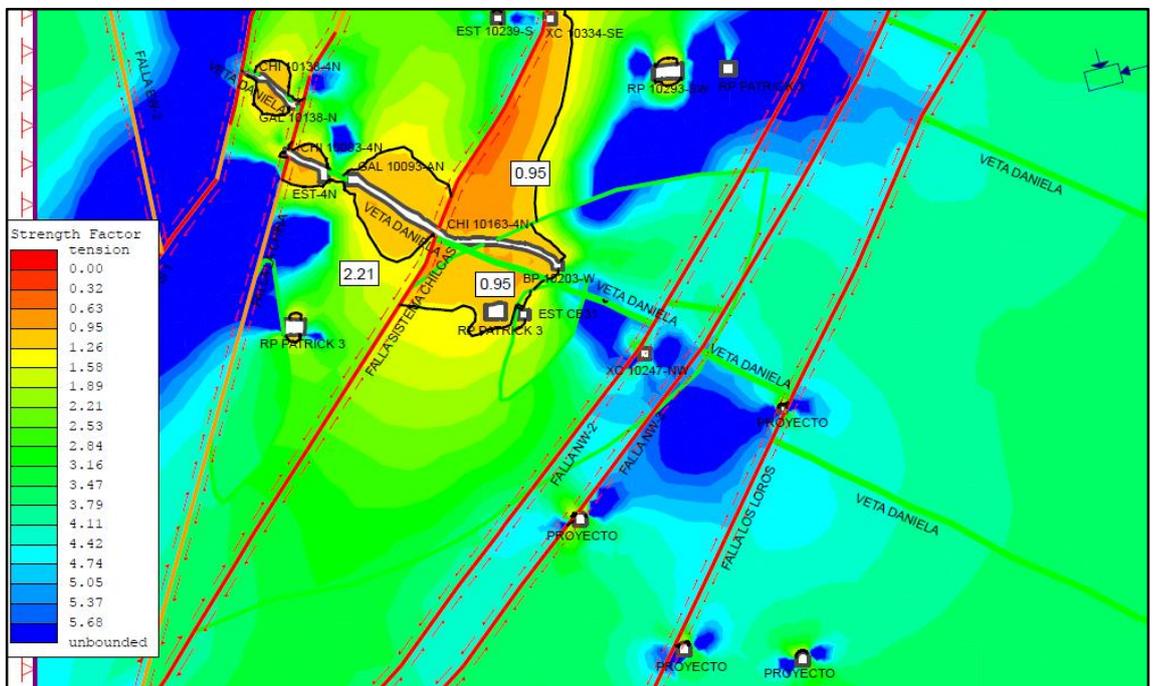
- El modelamiento tenso-deformacional sin excavación, bajo un control de distribución estructural y propiedades físico-mecánicas, presenta un Strength Factor promedio de 4.32 en el dominio litológico de la diorita y un Strength Factor promedio de 4.51 en el dominio litológico de Pórfido Granítico.
- La CHI 10163-4N, CHI 10093-4N y la CHI 10138-4N, presenta un Strength Factor menor a 1.00, debido al proceso de explotación y las condiciones estructurales presentes como la activación de la Falla Sistema Chilcas.
- Las extensiones de las zonas plásticas en las labores de explotación superan los 4.50 metros, en excavaciones de preparación – operación – exploración – desarrollo en litología diorita inferior a 1.00 metros, en pórfido granítico inferior a los 1.50 metros.
- En las labores base para el proceso de explotación como BP 10203-W, el control de sostenimiento será con pernos más malla y en la GAL 10093-AN, GAL 10138-N, el control de sostenimiento será con pernos más malla, ocasionalmente agregar shotcrete definitivo al sostenimiento con perno más malla y en ciertos tramos se instalara cuadros de madera. En labores permanentes como RP PATRICK 3, sostenimiento con perno más malla, ocasionalmente se considerara agregar shotcrete definitivo al sostenimiento.
- En el análisis de esfuerzos, la trayectoria de los esfuerzos presenta mayor concentración en la corona de los proyectos a ejecutarse y la RP PATRICK 3, las cuales son labores superiores a 4.00x4.00 metros. En labores de explotación la concentración se da en la labor base BP 10203-W. EN la GAL 10093-AN con LA EST 4N presenta esfuerzos superiores a 20 MPa, con un pilar de 5.00 metros, lo cual da indicios de una posible falla (Pillar Burst). El esfuerzo mayor promedio es de 11.45 MPa

- En el análisis de deformación, el vector de deformación presenta mayor concentración en las labores de explotación, por lo cual presenta mayor zona plástica.



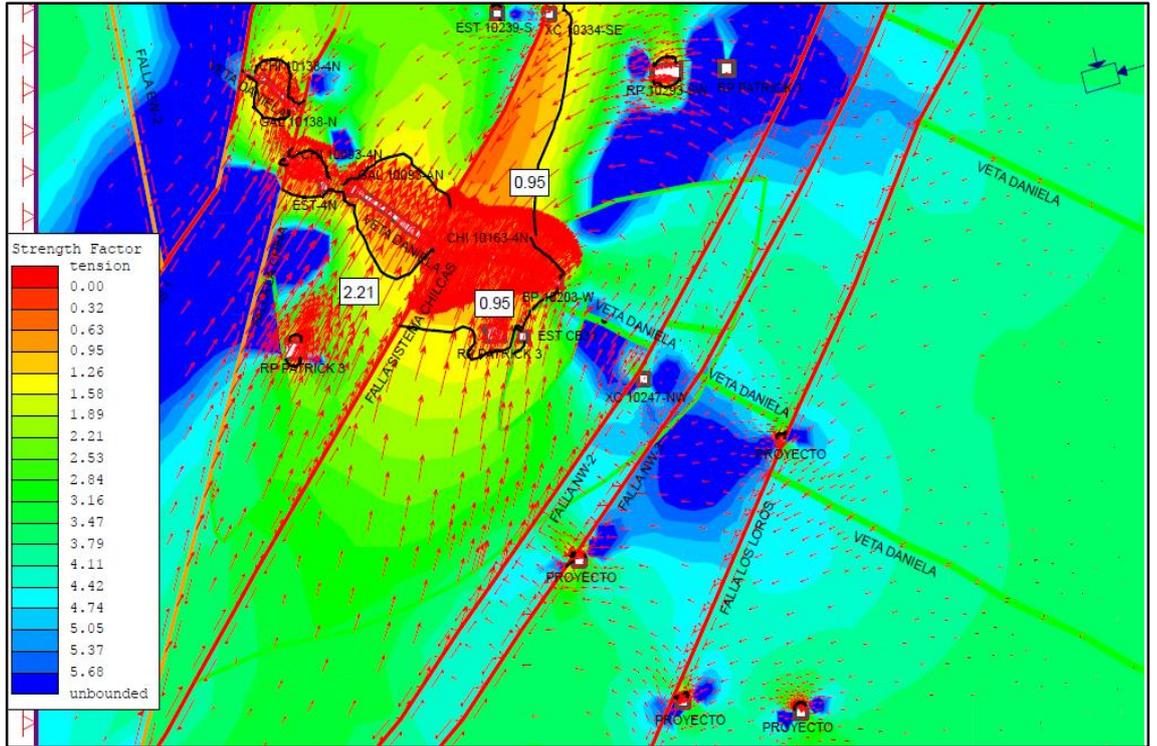
**Figura N° 88:** Sección Transversal Geológica Corte D-D.

**Fuente:** Rocscience Inc.

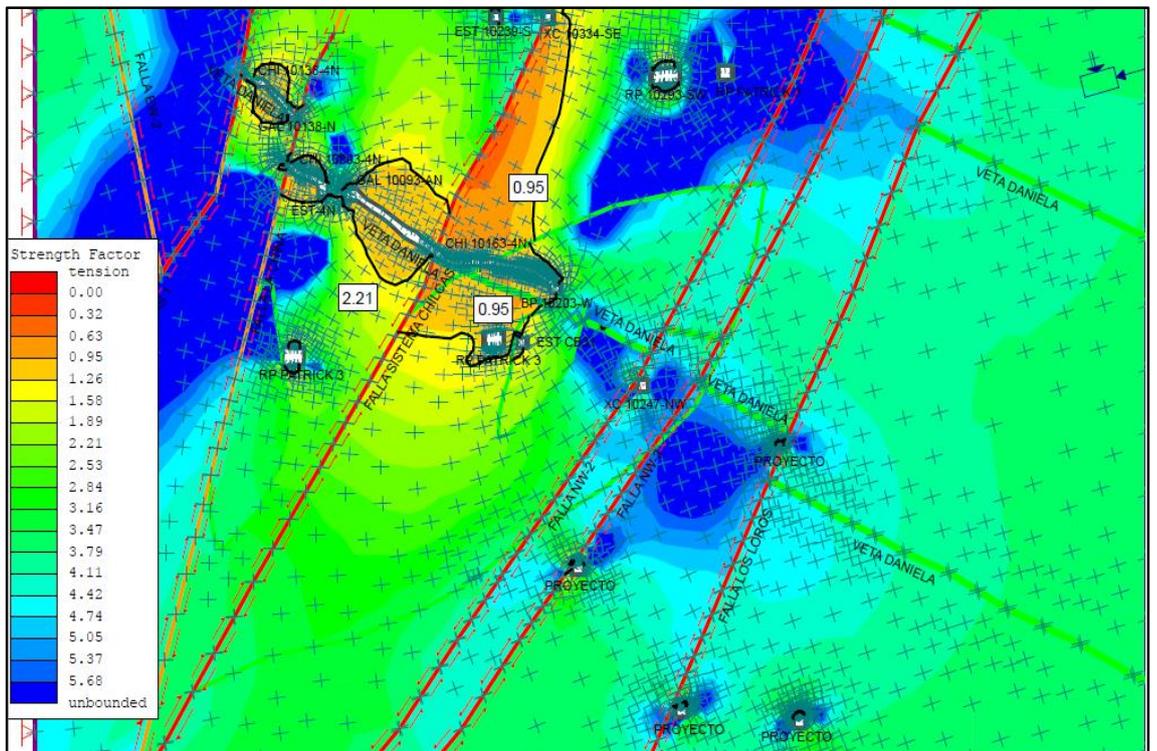


**Figura N° 89:** Factor de Seguridad - Simulación del Minado Corte D-D.

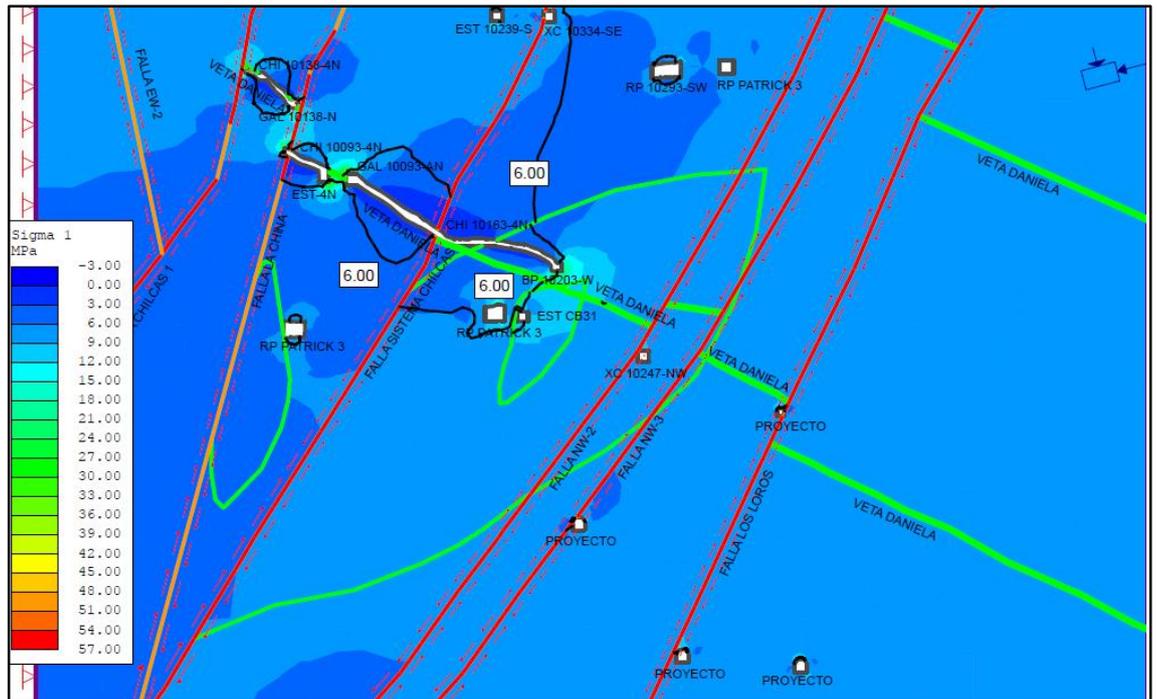
**Fuente:** Rocscience Inc.



**Figura N° 90:** Vector de deformación - Simulación del Minado Corte D-D.  
**Fuente:** Rocscience Inc.



**Figura N° 91:** Trayectorias de Esfuerzo - Simulación del Minado Corte D-D.  
**Fuente:** Rocscience Inc.



**Figura N° 92:** Esfuerzo Mayor - Simulación del Minado Corte D-D.

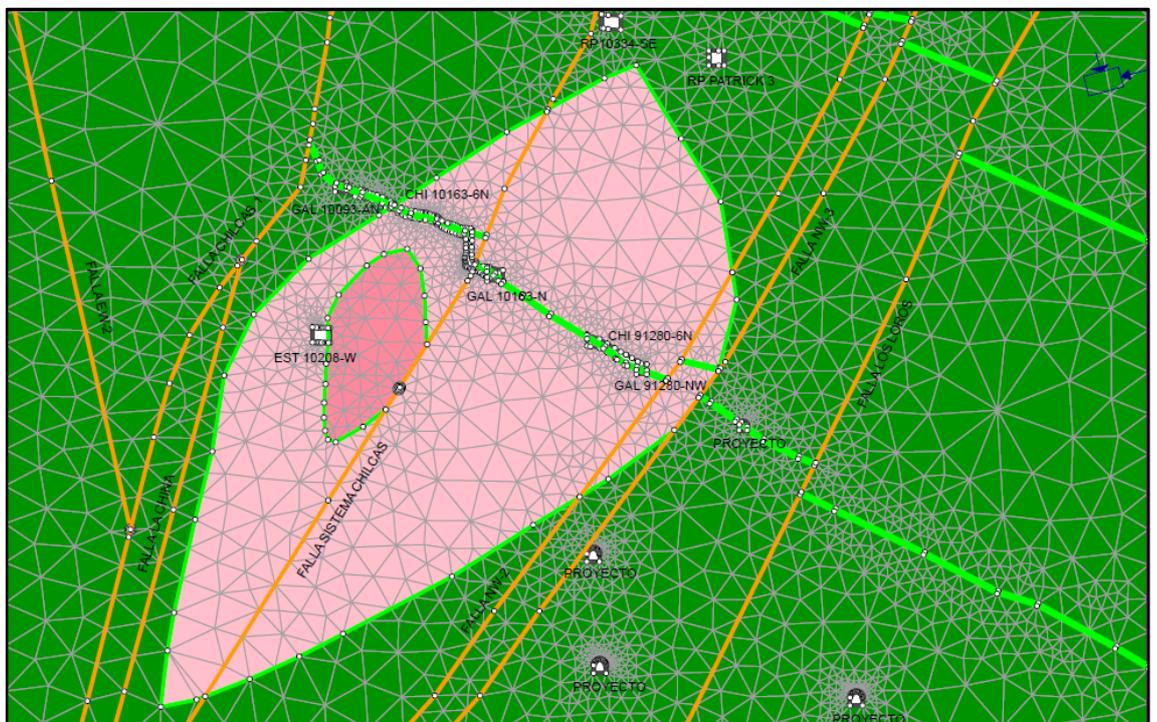
**Fuente:** Rocscience Inc.

#### 4.5.3.5 Sección E-E'

Los resultados de los modelamientos numéricos realizados para la Sección Longitudinal E-E', indican lo siguiente:

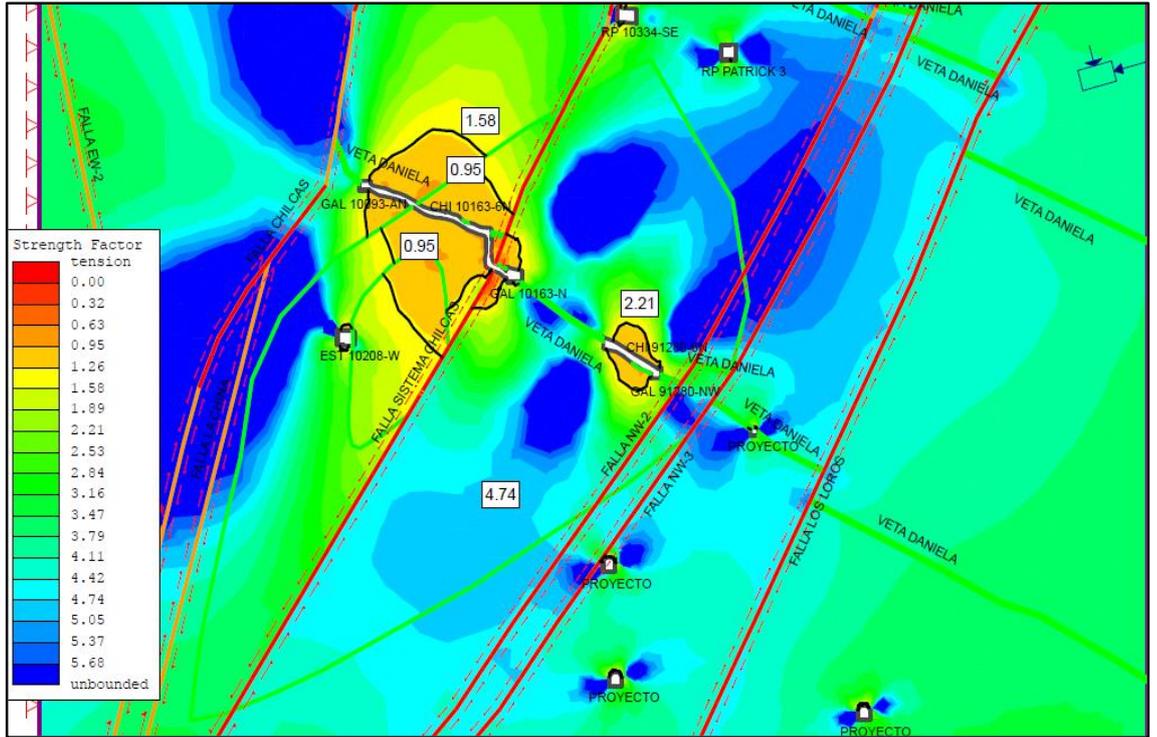
- El modelamiento tenso-deformacional sin excavación, bajo un control de distribución estructural y propiedades físico-mecánicas, presenta un Strength Factor promedio de 4.45 en el dominio litológico de la diorita y un Strength Factor promedio de 4.11 en el dominio litológico de Pórfido Granítico.
- La CHI 10163-6N, presenta un Strength Factor menor a 1.00, debido al proceso de explotación y las condiciones estructurales presentes como la activación de la Falla Chilcas.
- Las extensiones de las zonas plásticas en las labores de explotación superan los 3.50 metros, en excavaciones de preparación – operación – exploración – desarrollo en litología diorita inferior a 0.50 metros, en pórfido granítico inferior a los 0.50 metros, la baja extensión de la zona plástica es debido a excavaciones a menor escala.

- En las labores base para el proceso de explotación como la GAL 91280 y la GAL 10163-N, el control de sostenimiento será con pernos más malla y ocasionalmente agregar shotcrete definitivo al sostenimiento con perno más malla y en ciertos tramos se instalara cuadros de madera. En labores permanentes como RP PATRICK 3, sostenimiento con perno más malla, ocasionalmente se considerara agregar shotcrete definitivo al sostenimiento.
- En el análisis de esfuerzos, la trayectoria de los esfuerzos presenta mayor concentración en la corona de los proyectos a ejecutarse y la RP PATRICK 3, las cuales son labores superiores a 4.00x4.00 metros. En labores de explotación la concentración se da en la parte superior de la CHI 10163-6N y la GAL 10093-AN, cercano a la Falla Chilcas y en la labor base GAL 10163-N. El esfuerzo mayor promedio es de 7.70 MPa
- En el análisis de deformación, el vector de deformación presenta mayor concentración en las labores de explotación, por lo cual presenta mayor zona plástica.

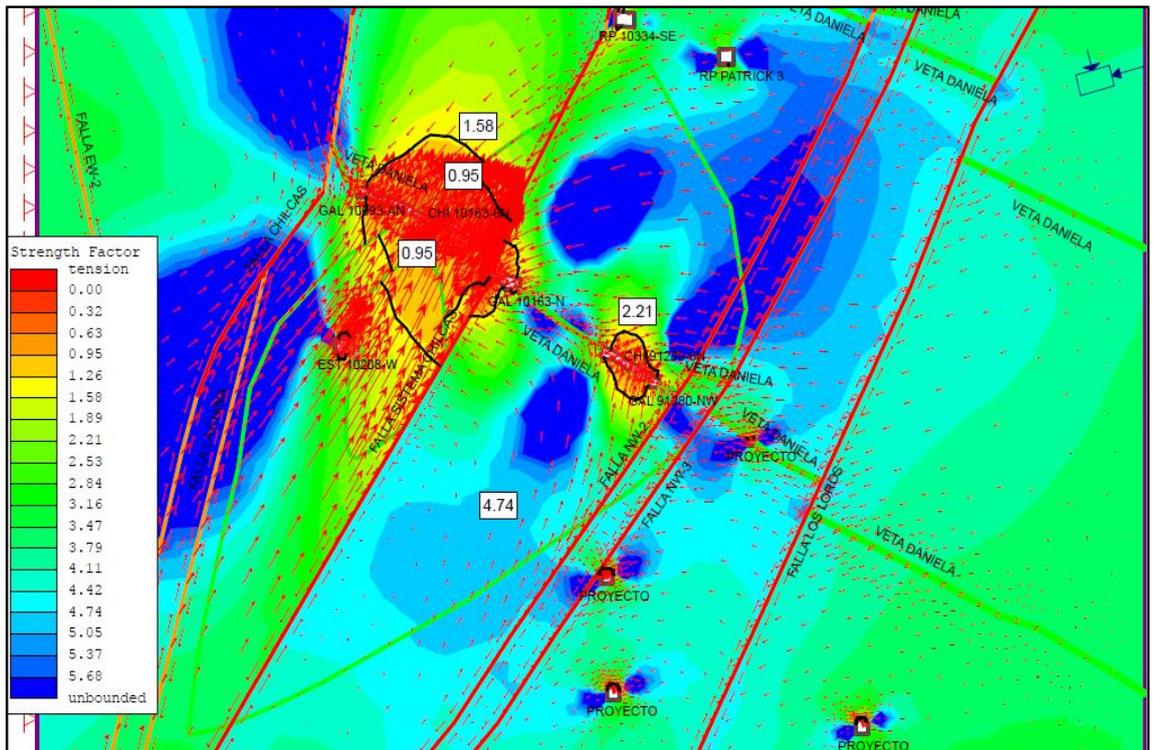


**Figura N° 93:** Sección Transversal Geológica Corte E-E.

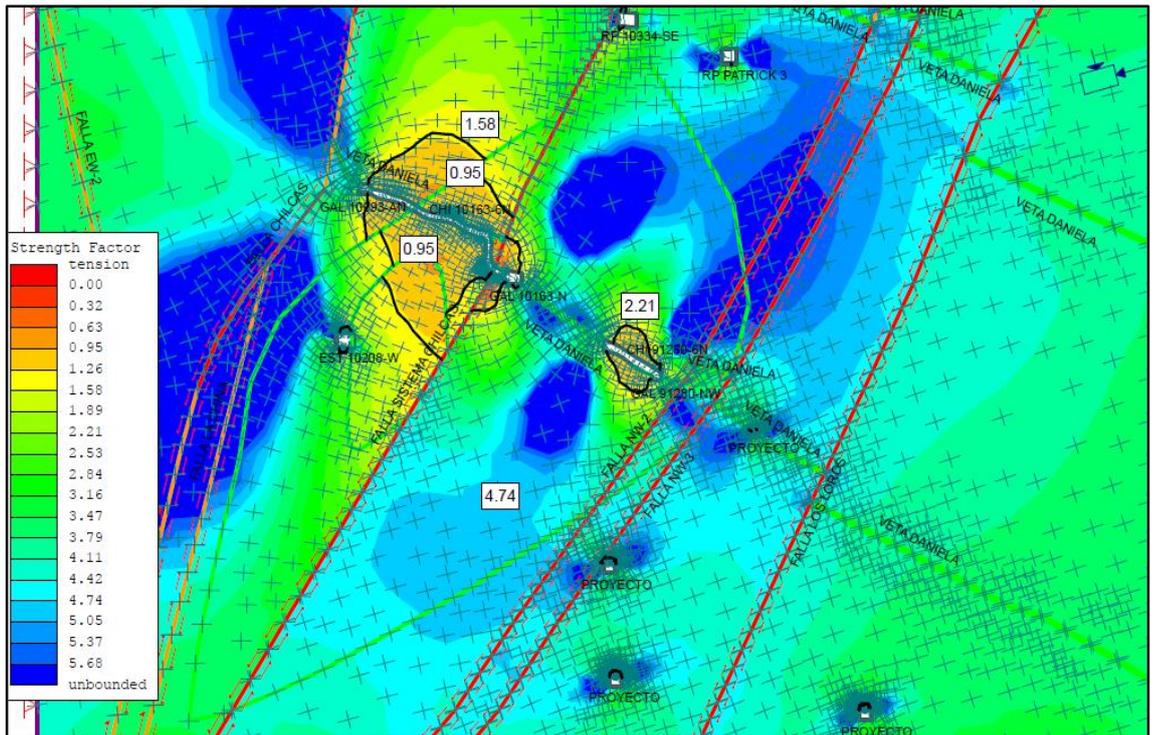
**Fuente:** Rocscience Inc.



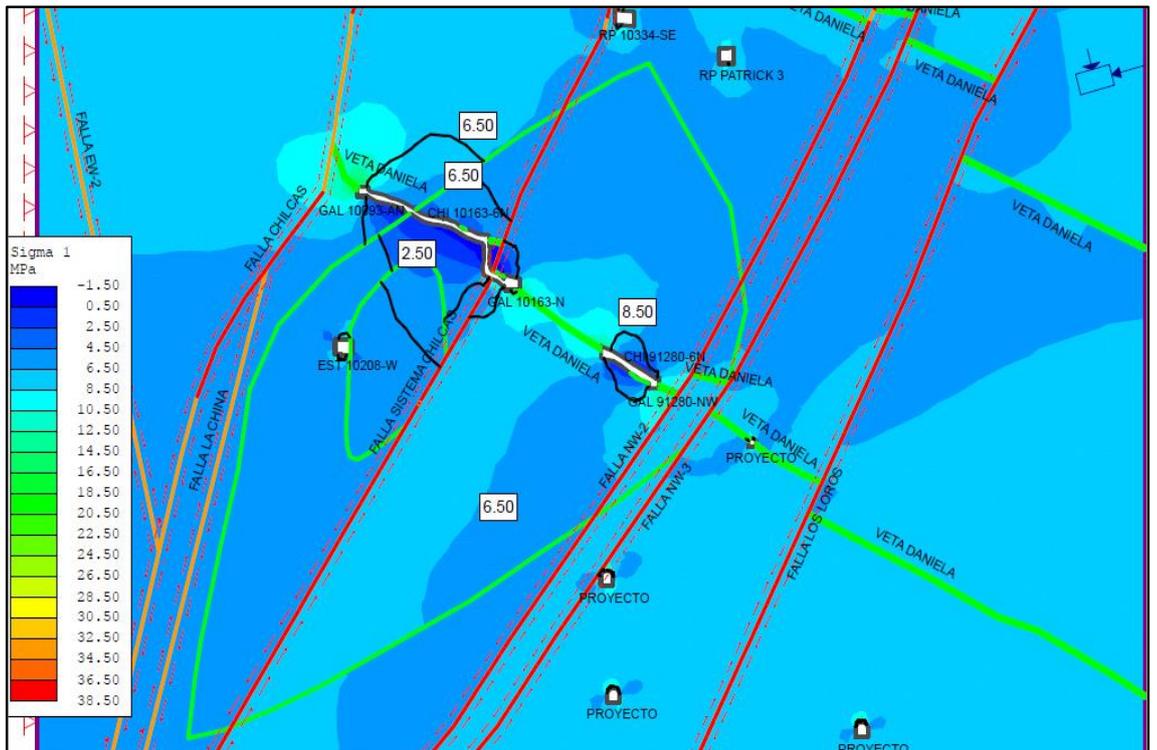
**Figura N° 94:** Factor de Seguridad - Simulación del Minado Corte E-E.  
**Fuente:** Rocscience Inc.



**Figura N° 95:** Vector de deformación - Simulación del Minado Corte E-E.  
**Fuente:** Rocscience Inc.



**Figura N° 96:** Trayectorias de Esfuerzo - Simulación del Minado Corte E-E.  
**Fuente:** Rocscience Inc.

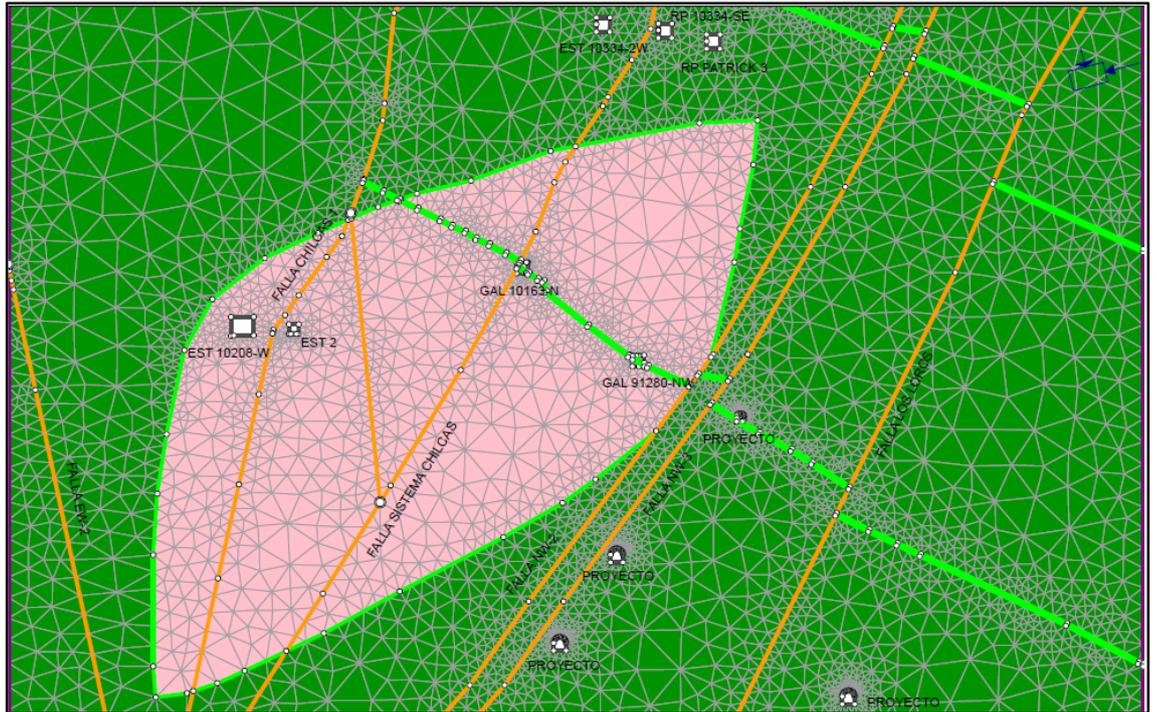


**Figura N° 97:** Esfuerzo Mayor - Simulación del Minado Corte E-E.  
**Fuente:** Rocscience Inc.

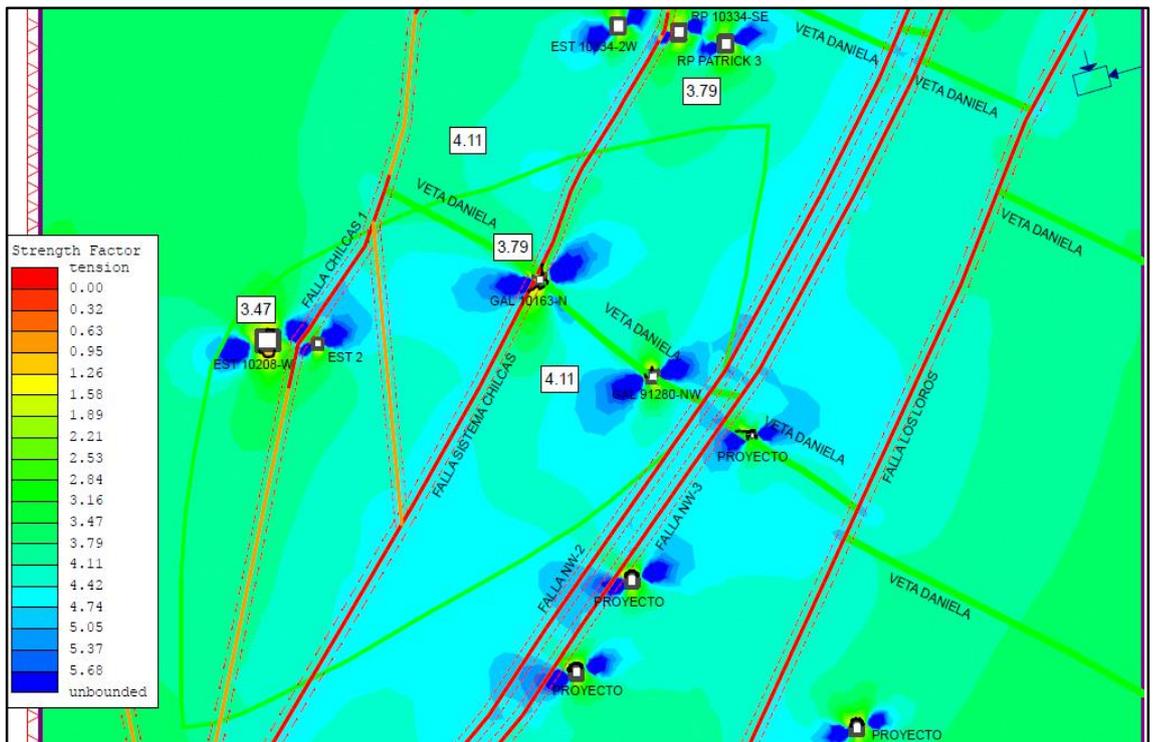
#### 4.5.3.6 Sección F-F'

Los resultados de los modelamientos numéricos realizados para la Sección Longitudinal F-F', indican lo siguiente:

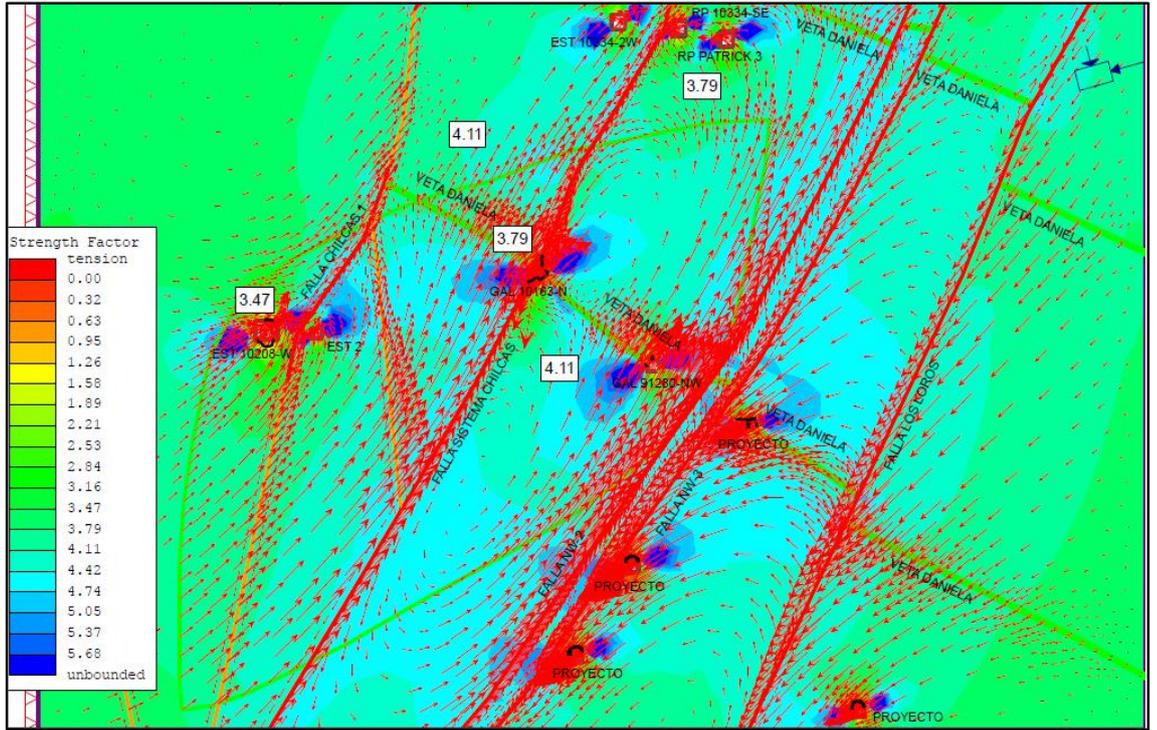
- El modelamiento tenso-deformacional sin excavación, bajo un control de distribución estructural y propiedades físico-mecánicas, presenta un Strength Factor promedio de 4.02 en el dominio litológico de la diorita y un Strength Factor promedio de 4.35 en el dominio litológico de Pórfido Granítico.
- Las extensiones de las zonas plásticas en excavaciones de preparación – operación – exploración – desarrollo en litología diorita y pórfido granítico son inferiores a los 0.30 metros, la baja extensión de la zona plástica es debido a excavaciones a menor escala.
- El sostenimiento a aplicar en las labores permanentes será perno más malla y ocasionalmente se considerara agregar shotcrete definitivo al sostenimiento.
- En el análisis de esfuerzos, la trayectoria de los esfuerzos presenta mayor concentración en la corona de los proyectos a ejecutarse y la RP PATRICK 3, las cuales son labores superiores a 4.00x4.00 metros. El esfuerzo mayor promedio es de 7.03 MPa
- En el análisis de deformación, el vector de deformación presenta concentración en las excavaciones que se va realizando.



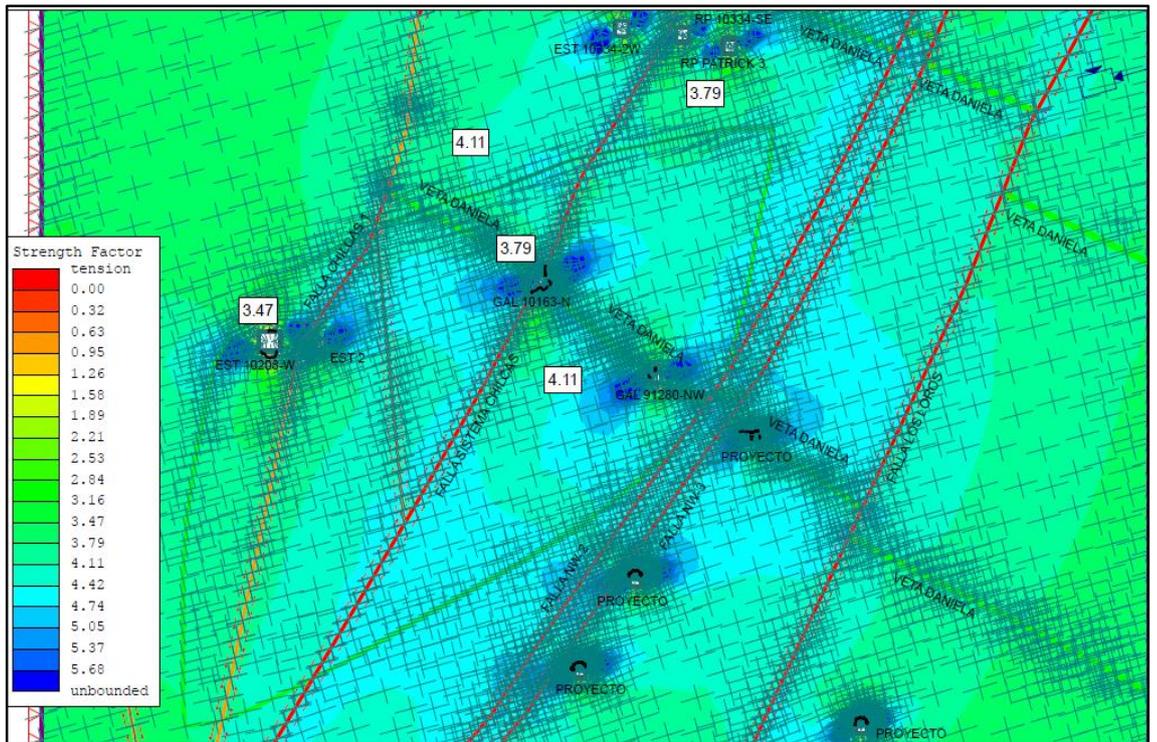
**Figura N° 98:** Sección Transversal Geológica Corte F-F.  
**Fuente:** Rocscience Inc.



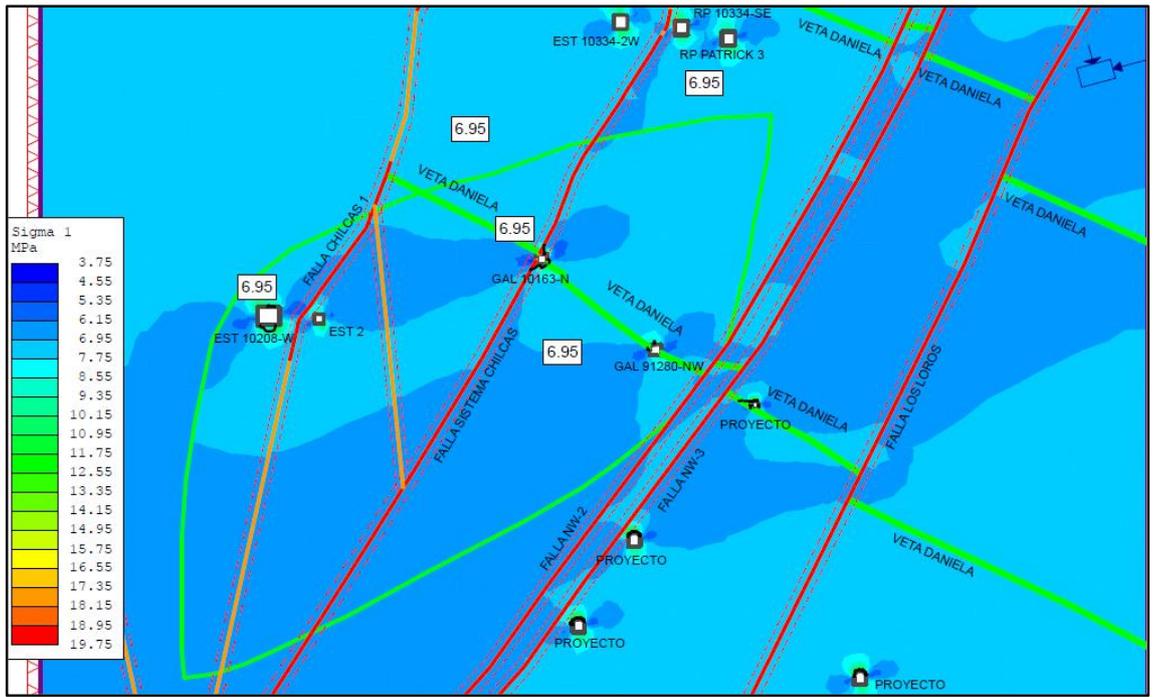
**Figura N° 99:** Factor de Seguridad - Simulación del Minado Corte F-F.  
**Fuente:** Rocscience Inc.



**Figura N° 100:** Vector de deformación - Simulación del Minado Corte F-F.  
**Fuente:** Rocscience Inc.



**Figura N° 101:** Trayectorias de Esfuerzo - Simulación del Minado Corte F-F.  
**Fuente:** Rocscience Inc.



**Figura N° 102:** Esfuerzo Mayor - Simulación del Minado Corte F-F.  
**Fuente:** Rocscience Inc.

## CONCLUSIONES

1. Con el presente informe se ha logrado desarrollar el modelamiento geomecánico de la zona de profundización optimizando el criterio de estabilidad, mediante el análisis de falla, análisis de cuña y análisis de esfuerzos. Optimizar el criterio y control de estabilidad de las excavaciones subterráneas garantiza resultados significativos en la funcionalidad y la seguridad de la actividad minera.
2. Se logró determinar las características del macizo rocoso y clasificarlas en función a los diferentes dominios litológicos en base a normas de la Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas.
3. Los factores que controlan la estabilidad de las excavaciones asociadas al minado, son; las características estructurales del medio geológico, esfuerzos mayores, carga litostática y el diseño dinámico de las excavaciones.
4. Según el RMR promedio, el control de sostenimiento se realizara con pernos helicoidales de 8 pies de longitud más malla electrosoldada y finalmente se reforzará con shotcrete definitivo de 2 pulgadas de espesor, para labores de 3.0m x 3.0m.
5. El esfuerzo vertical in-situ, para un profundidad aproximada de 1200 metros es de 4.21 MPa, constante "k" = 1.75; el esfuerzo horizontal estaría en el rango de 7.37 MPa. Cabe mencionar que el esfuerzo vertical es equivalente al esfuerzo principal menor y el esfuerzo horizontal equivalente al esfuerzo principal mayor ( $\sigma_1$ ), de acuerdo a mediciones Over Coring realizadas en la Unidad, con un inclinación de 15° respecto a la horizontal para secciones en dirección NE-SW.
6. Según el análisis de falla, el primer sistema de discontinuidades dominante (Sistema 1) conformado por diaclasas, presenta un rumbo NW-SE y buzamiento alto al SW, coincidiendo con el sistema principal de fallas y orientación paralela a las estructuras mineralizadas, significando condiciones de estabilidad muy desfavorables.
7. Según el análisis de falla, el segundo sistema de discontinuidades (Sistema 2), conformado por diaclasas, presentan un rumbo NE-SW y buzamiento al SE, con orientación perpendicular al rumbo de las estructurales mineralizadas, significando condiciones de estabilidad favorable.
8. Según el análisis de cuñas, para excavaciones con orientación de avance paralela al rumbo de la estructura mineralizada, se tiene formación de cuñas en la parte izquierda de la corona, el cual tiene un criterio de falla o desprendimiento por deslizamiento. Presenta cuñas de 4.20 toneladas, un volumen de 1.50 m<sup>3</sup> y un factor de seguridad

de cero. El control de sostenimiento se realizara con malla electro-soldada más pernos de roca de 8 pies de longitud en bóveda y pernos de roca de 5 pies de longitud en hastiales. Obteniendo un factor de seguridad de 9.

9. Según el análisis de cuñas, para excavaciones con orientación de avance perpendicular al rumbo de la estructura mineralizada, se observa la formación de cuñas en el centro de la corona, el cual tiene un criterio de falla o desprendimiento por gravedad. Presenta cuñas de 1.50 toneladas, un volumen de 0.57 m<sup>3</sup> y un factor de seguridad de cero. El control de sostenimiento se realizara con malla electro-soldada más pernos de roca de 6 pies de longitud en bóveda y pernos de roca de 5 pies de longitud en hastiales. Obteniendo un factor de seguridad es de 42.
10. Según el análisis de estabilidad controlada por esfuerzos, el modelamiento tenso-deformacional del macizo rocoso de la zona de profundización de acuerdo al control litológico, estructural y mineralógico, presenta un Strength Factor superior a 1.00 en labores insitu y un Strength Factor menor a 1.00 en labores de explotación, lo cual indica que el vector de deformación presenta mayor concentración en las labores de explotación y por ende una mayor zona plástica.
11. En el análisis de esfuerzos, la trayectoria de los esfuerzos presenta mayor concentración en la corona de labores superiores a 4.00x4.00 metros y las labores base de la zona de explotación, por lo cual la excavación está sometida a esfuerzos mayores superior a los 20 MPa. Por lo cual hay incidencia a posibles Pillar Burst si no se controla el diseño de minado.

## RECOMENDACIONES

1. Se debe de realizar estudios de criterio de estabilidad para las diferentes zonas y niveles de excavación (unidades geotécnicas). No se puede utilizar un solo modelamiento numérico aplicado a la evaluación de estabilidad para toda la mina.
2. Las evaluaciones esfuerzo/deformación deben de ser continuas, debido al efecto que producen los nuevos campos tensionales a los que se somete una excavación.
3. Cumplir con los PETS y ESTANDARES establecidos por el área de Geomecánica, normativa y documentación vigente.
4. Utilizar el criterio de estabilidad para determinar el diseño de sostenimiento y mina. Implica la interacción entre áreas como planeamiento, geología, geomecánica y mina.
5. Realizar caracterizaciones del macizo rocoso a detalle, con la finalidad de determinar todas las condiciones del macizo rocos y lograr mejores resultados en el control de estabilidad de las excavaciones.
6. Los datos recopilados de campo deben ser los más exactos posibles para obtener resultados de calidad, los cuales contrasten con la realidad.
7. Las recomendaciones están en función a proyecciones estimadas, por lo que el área de Geomecánica realiza evaluaciones y seguimiento continuo para realizar las modificaciones necesarias.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Barton, N., & Grimstad, E. (2004). *EL SISTEMA Q PARA LA SELECCION DEL SOSTENIMIENTO EN EL METODOD NORUEGO DE EXCAVACION DE TÚNELES*. Norwegian Geotechnical Institute.
2. Bieniawski, Z. (1989). *ENGINEERING ROCK MASS CLASIFICACION*. Interscience Publication, Wiley.
3. Brady, B., & Brown, E. (1985). *ROCK MECHANICS FOR UNDERGROUND MINING*. London.
4. Brown, E. (1981). *ROCK CARACTRERIZATION TESTING AND MONITORING*. ISRM Suggested Methods - Comimision on Testing Methods, International Society for Rock Mechanics.
5. Calada Tamames, B., & Galera Fernández, J. M. (s.f.). *INVESTIGACIÓN Y CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA PARA EL PROYECTO DE TÚNELES*. Artículo Científico, Geocontrol, Madrid.
6. Cartaya Pire, M. (2001). *CARACTERIZACIÓN GEOMECAÍNICA DE MACIZOS ROCOSOS EN OBRAS SUBTERRÁNEAS DE LA REGIÓN ORIENTAL DEL PAIS*. Tesis Doctoral, Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa 'Dr Antonio Nuñez Jiménez', Cuba.
7. Córdova Rojas, N. D. (2008). *GEOMECAINICA EN EL MINADO SUBTERRÁNEO CASO MINA CONDESTABLE*. Tesis, Universidad Nacional de Ingenieria, Lima, Lima.
8. Gallardo Amaya, R. J., Guerrero Barbosa, T. E., & Macgregor Torrado, A. A. (2013). *INVESTIGACIÓN GEOTÉCNICA PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LAS LADERAS DEL BARRIO SAN FERMÍN, MUNICIPIO DE OCAÑA, DEPARTAMENTO DE NORTE DE SANTANDER (COLOMBIA)*. Artículo Científico, Universidad Francisco de Paula, Santander.
9. Hoek, E. (2018). *ROCSCIENCE*.
10. Karzulovic Livesey, I. (2013). *INYGE*. Obtenido de [www.inyge.cl](http://www.inyge.cl)
11. Krzyszton, D., & Carbajal, A. (2007). *SUSCEPTIBILITY OF ROCKS BUMPS*. Yacimientos Uchucchacua.
12. Llanco Sedano, J. H., & Sicus Quispe, Y. R. (2012). *EVALUACION DE LA VOLADURA BASADA EN LAS CLASIFICACIONES GEOMECAÍNICAS EN LA CIA CONSORCIO MINERO HORIZONTE - U.P CULEBRILLAS*. Tesis, Universidad Nacional de Huancavelica, Huancavelica.
13. López Jimeno, C. (2005). *INGEO TUNELES*. Madrid: Arias Montano S.A.
14. Lozano Montañez, F. A., William, O. J., & Andrés Camacho, R. (2012). *ESTUDIO GEOMECAÍNICO PARA EL DISEÑO MINERO A CIELO ABIERTO DEL YACIMIENTO DE CARBÓN EN RONDÓN - BOYACÁ*. Colombia.
15. Marconi A., M., & Farfan P., M. (2008). *CARACTERIZACIÓN GEOMECAÍNICA PARA EL PROYECTO DEL TÚNEL DEL SISTEMA SUBTERRÁNEO METRO DE CARACAS. LINEA 5, TRAMO BELLO MONTE-CHUAO (UNEFA)*. Tesis, Universidad Central de Venezuela, Caracas.

16. Martín Sánchez, Emilio Winograd, Sergio Bosco, Juan Pablo Álvarez, & Marcos Mendoza. (Abril de 2015). *CARACTERIZACIÓN DE PROPIEDADES MECÁNICAS DE ROCA A TRAVÉS DE SIMULACIONES NUMÉRICAS A TRATAMIENTO DE IMAGENES*. (Bernard Gremillet, Ed.) *Desafíos*, 75.
17. Muñoz Fernandez, L. M., & Gonzalez de Vallejo, L. I. (1987). *APLICACIÓN DE LAS CLASIFICACIONES GEOMECAÑICAS AL ESTUDIO DE EXCAVACIONES SUBTERRÁNEAS*. Artículo , Universidad Complutense Madrid, Madrid.
18. Pabón Gélvez, E., & Obeid Méndez, Y. (2004). *ANÁLISIS DE LA GEOMECAÑICA APLICADA A LA ESTABILIDAD DE POZOS DE LOS CAMPOS CUSIANA Y CUPIAGUA MEDIANTE ANALOGÍAS CON YACIMIENTOS SENSIBLES A ESFUERZOS*. Tesis, Universidad Industrialde Santander, Bucaramanga.
19. Parra Retj, A. F. (2015). *PLANIFICACIÓN MINERA A CIELO ABIERTO UTILIZANDO FUNDAMENTOS GEOMECAÑICOS*. Tesis, Universidad de Chile, Santiago de Chile.
20. Rivero Abarca, V. (2008). *EVALUACIÓN GEOMECAÑICA DE ESTRATEGIAS DE SOCAVACIÓN EN MINERIA SUBTERRANEA*. Mermoria, Universidad de Chile, Santiago de Chile.
21. Sociedad Nacional de Minería, P. y. (2004). *MANUAL DE GEOMECAÑICA APLICADA A LA PREVENCIÓN DE ACCIDENTES POR CAÍDA DE ROCAS EN MINERÍA SUBTERRANEA*.
22. Suarez Burgoa, L., Valencia González, Y., Ordóñez Carmona, O., Navarro Montoya, Á., & Hidalgo Gómez, B. (2009). *INGENIERÍA DE ROCAS EN EL TÚNEL DE CONDUCCIÓN SUPERIOR DEL PROYECTO HIDROELÉCTRICO PORCE III, COLOMBIA*. Artículo Científico, Universidad Nacional de Colombia, Medellin.
23. Surcolombiana, U. (2012). *ROCKCLUB*.
24. Tapia Cabanillas, M. E. (2008). *FORMULACION DE UN MODELO GEOLOGICO-ESTRUCTURAL, EN EL SISTEMA DE VETAS DE LA FRANJA OESTE DEL YACIMIENTO MINERO DE PARCOY, CONSORCIO MINERO HORIZONTE*. Tesis, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima.
25. Tapia Cabanillas, M. E. (2008). *Formulacion de un modelo geológico-estructural, en el sistema de vetas de la franja oeste del yacimiento minero de Parcoy, Consorcio Minero Horizonte*.
26. Torres Yupanqui, L. A., Ruíz Castro, A. A., Daga Huaricancha, J., & Vizcarra Arana, J. G. (2010). *GEOMECAÑICA APLICADA AL CONTROL DE LAS LABORES MINERAS PARA LA MINIMIZACION DE CAIDA DE ROCAS EN LA MINA MADRUGADA CÍA. MINERA HUINAC SAC-ANCASH-2009*. Artículo Científico, Universidad Nacional Santiago antúnez de Mayolo, Ancash.



ITEM	NIVEL	LABOR	RQD		CONDICIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES										Agua		RMR BASICO	TIPO DE ROCA BASICO	RMR AJUSTADO	TIPO DE ROCA AJUSTADO
			Resistencia a la Compresión		Espaciamento entre Discontinuidad	Persistencia	Apertura	Rugosidad	Relleno	Alteración	Subterránea	Discontinuidades								
			15 7	12 4									20 17 13 9	6	4	2				
101	2370	GAL 10138-S (RP 10293-SW (RP))	7	8	8	2	2	2	2	2	2	2	2	2	10	10	42	III-B	32	IV-A
102	2370	GAL 10138-S (RP 10293-SW (RP))	7	8	8	1	2	2	2	2	2	2	2	2	10	10	42	III-B	32	IV-A
103	2370	CHI 10138-6S (EST 6/GAL 10138S)	4	7	8	2	2	2	2	2	2	2	2	2	10	10	39	IV-A	29	IV-B
104	2370	CHI 10138-6S (EST 6/GAL 10138S)	4	7	8	2	2	2	2	2	2	2	2	2	10	10	40	IV-A	30	IV-B
105	2370	CHI 10138-6S (EST 6/GAL 10138S)	7	8	8	3	2	2	2	2	2	2	2	2	12	10	49	III-B	39	IV-A
106	2370	CHI 10138-6S (EST 6/GAL 10138S)	8	8	8	3	2	2	2	2	2	2	2	2	10	8	49	III-B	41	III-B
107	2370	CHI 10138-0 (S/N 2385-N(CH2S))	7	10	8	2	2	2	2	2	2	2	2	2	12	10	47	III-B	37	IV-A
108	2370	CHI 10138-0 (S/N 2385-N(CH2S))	7	10	8	2	2	2	2	2	2	2	2	2	12	10	41	III-B	29	IV-B
109	2370	CHI 10138-0 (S/N 2385-N(CH2S))	7	10	8	2	2	2	2	2	2	2	2	2	12	10	47	III-B	37	IV-A
110	2370	S/N 2381-N (CHI 10138-2S(EST))	4	10	8	2	2	2	2	2	2	2	2	7	10	37	IV-A	27	IV-B	
111	2370	S/N 2381-N (CHI 10138-2S(EST))	4	10	8	2	2	2	2	2	2	2	2	7	10	36	IV-A	26	IV-B	
112	2370	S/N 2381-N (CHI 10138-2S(EST))	4	10	8	2	2	2	2	2	2	2	2	7	10	36	IV-A	26	IV-B	
113	2370	CHI 10138-3S (S/N 2385-S (CHI))	5	8	8	1	2	2	2	2	2	2	2	10	10	39	IV-A	29	IV-B	
114	2370	CHI 10138-3S (S/N 2385-S (CHI))	5	8	8	1	2	2	2	2	2	2	2	10	10	37	IV-A	27	IV-B	
115	2370	CHI 10138-3S (S/N 2385-S (CHI))	5	8	8	1	2	2	2	2	2	2	2	10	10	37	IV-A	27	IV-B	
116	2370	CHI 10138-4S (EST 1S(GAL10138S))	5	8	8	2	3	3	3	2	2	2	2	12	10	45	III-B	35	IV-A	
117	2370	CHI 10138-4S (EST 1S(GAL10138S))	5	8	8	2	3	3	3	2	2	2	2	12	10	45	III-B	35	IV-A	
118	2370	CHI 10138-4S (EST 1S(GAL10138S))	5	8	8	2	3	3	3	2	2	2	2	12	10	45	III-B	35	IV-A	
119	2370	CHI 10138-6S (EST 6/GAL 10138S)	7	8	7	2	3	3	3	2	2	2	2	10	10	45	III-B	35	IV-A	
120	2370	CHI 10138-6S (EST 6/GAL 10138S)	7	7	7	2	3	3	3	2	2	2	2	10	10	44	III-B	34	IV-A	
121	2370	CHI 10138-6S (EST 6/GAL 10138S)	8	7	8	3	2	3	3	3	3	3	3	10	10	47	III-B	37	IV-A	
122	2370	CHI 10138-6S (EST 6/GAL 10138S)	7	8	8	2	2	3	2	3	2	3	3	10	10	45	III-B	35	IV-A	
123	2370	CHI 10138-4S (EST 1S(GAL10138S))	7	8	7	2	2	3	2	3	2	3	3	10	10	44	III-B	34	IV-A	
124	2370	CHI 10138-4S (EST 1S(GAL10138S))	7	7	7	2	3	3	3	2	3	3	3	10	10	44	III-B	34	IV-A	
125	2370	CHI 10138-4S (EST 1S(GAL10138S))	7	8	7	3	3	3	2	3	2	3	3	10	10	50	III-B	40	IV-A	
126	2370	CHI 10138-4S (EST 1S(GAL10138S))	7	7	7	7	2	3	2	3	2	3	3	10	10	48	III-B	38	IV-A	
127	2370	GAL 10138-N (RP 10293-SW (RP))	5	10	8	2	2	2	2	2	2	2	2	12	12	42	III-B	30	IV-B	
128	2370	GAL 10138-N (RP 10293-SW (RP))	5	10	8	2	2	2	2	2	2	2	2	12	12	42	III-B	30	IV-B	
129	2370	GAL 10138-N (RP 10293-SW (RP))	5	10	8	2	2	2	2	2	2	2	2	12	12	44	III-B	32	IV-A	
130	2370	GAL 10138-N (RP 10293-SW (RP))	5	10	8	2	2	2	2	2	2	2	2	12	12	44	III-B	32	IV-A	
131	2370	S/N 2381-N (CHI 10138-4NE(EST))	4	8	8	2	2	2	2	2	2	2	2	10	10	37	IV-A	27	IV-B	
132	2370	S/N 2381-N (CHI 10138-4NE(EST))	4	8	8	2	2	2	2	2	2	2	2	10	10	36	IV-A	26	IV-B	
133	2370	S/N 2381-N (CHI 10138-4NE(EST))	4	8	8	2	2	2	2	2	2	2	2	10	10	36	IV-A	26	IV-B	
134	2370	S/N 2381-N (CHI 10138-4NE(EST))	4	8	8	2	2	2	2	2	2	2	2	10	10	36	IV-A	26	IV-B	
135	2370	GAL 10138-S (RP 10293-SW (RP))	6	10	8	2	2	2	2	2	2	2	2	10	10	40	IV-A	30	IV-B	
136	2370	GAL 10138-S (RP 10293-SW (RP))	6	10	8	2	2	2	2	2	2	2	2	10	10	41	III-B	31	IV-A	
137	2370	CHI 10138-6S (EST 6/GAL 10138S)	7	10	8	2	2	3	2	2	2	2	2	10	12	46	III-B	34	IV-A	
138	2370	CHI 10138-6S (EST 6/GAL 10138S)	7	10	8	2	2	2	2	2	2	2	2	10	12	45	III-B	33	IV-A	
139	2370	S/N 2393-S (CHI 10138-4S(EST))	5	10	8	2	2	2	2	2	2	2	2	12	7	43	III-B	36	IV-A	
140	2370	S/N 2393-S (CHI 10138-4S(EST))	5	10	8	2	2	2	2	2	2	2	2	12	7	41	III-B	34	IV-A	
141	2370	CHI 10138-4S (EST 1S(GAL10138S))	5	10	8	2	2	2	2	2	2	2	2	10	10	44	III-B	34	IV-A	
142	2370	CHI 10138-4S (EST 1S(GAL10138S))	5	10	8	2	2	2	2	2	2	2	2	10	10	43	III-B	33	IV-A	
143	2370	CHI 10138-4S (EST 1S(GAL10138S))	5	10	8	2	2	2	2	2	2	2	2	10	10	44	III-B	34	IV-A	
144	2370	S/N 2385-S (CHI 10138-4S(EST))	5	8	8	2	3	2	2	2	2	2	2	10	10	41	III-B	31	IV-A	
145	2370	S/N 2385-S (CHI 10138-4S(EST))	5	10	8	2	2	2	2	2	2	2	2	10	10	41	III-B	31	IV-A	
146	2370	S/N 2385-S (CHI 10138-4S(EST))	5	8	8	2	3	2	2	2	2	2	2	10	10	41	III-B	31	IV-A	
147	2370	EST CC1 (RP 10334-SE(RPPA))	4	9	8	1	1	4	4	5	7	5	5	5	43	III-B	38	IV-A		
148	2370	EST CC1 (RP 10334-SE(RPPA))	4	9	8	1	1	4	4	5	7	5	5	5	43	III-B	38	IV-A		
149	2370	EST CC1A (RP 10334-SE(RPPA))	7	8	8	1	1	4	4	5	7	5	5	45	III-B	40	IV-A			
150	2370	EST CC1A (RP 10334-SE(RPPA))	4	10	10	1	1	1	1	5	10	5	43	III-B	38	IV-A				
151	2370	XC 10334-SE (RP 10334-SE(RPPA))	7	8	8	2	4	3	2	3	2	3	3	10	5	47	III-B	42	III-B	
152	2370	XC 10334-SE (RP 10334-SE(RPPA))	8	8	8	2	3	3	2	3	2	3	3	10	5	45	III-B	40	IV-A	
153	2370	XC 10334-SE (RP 10334-SE(RPPA))	7	8	8	2	4	3	2	3	2	3	3	10	5	47	III-B	42	III-B	
154	2370	GAL 10138-AN (XC 10089-SW(RP-S))	7	12	8	2	4	1	1	5	10	5	50	III-B	45	III-B				
155	2370	GAL 10138-AN (XC 10089-SW(RP-S))	7	10	8	2	5	1	1	5	10	5	49	III-B	44	III-B				
156	2370	GAL 10138-AN (XC 10089-SW(RP-S))	4	8	8	1	4	2	2	3	10	10	42	III-B	32	IV-A				
157	2370	GAL 10138-S (RP 10293-SW (RP))	4	8	8	2	1	1	1	3	10	10	38	IV-A	28	IV-B				
158	2370	GAL 10138-S (RP 10293-SW (RP))	4	8	8	2	1	1	1	2	10	10	37	IV-A	27	IV-B				
159	2370	GAL 10138-S (RP 10293-SW (RP))	4	8	8	2	1	1	1	3	10	10	38	IV-A	28	IV-B				
160	2370	XC 10334-SE (RP 10334-SE(RPPA))	7	8	10	1	3	3	2	1	10	7	45	III-B	38	IV-A				
161	2370	XC 10334-SE (RP 10334-SE(RPPA))	7	8	10	1	3	3	2	1	10	7	45	III-B	38	IV-A				
162	2370	XC 10334-SE (RP 10334-SE(RPPA))	7	8	10	1	3	3	2	1	10	7	45	III-B	38	IV-A				
163	2370	GAL 10138-S (RP 10293-SW (RP))	4	10	10	2	1	1	1	2	10	10	41	III-B	31	IV-A				
164	2370	GAL 10138-S (RP 10293-SW (RP))	4	10	10	2	1	1	1	2	10	10	40	IV-A	30	IV-B				
165	2370	GAL 10138-S (RP 10293-SW (RP))	4	10	10	2	1	1	1	2	10	10	41	III-B	31	IV-A				
166	2370	GAL 10138-S (RP 10293-SW (RP))	5	10	9	2	1	1	1	1	10	10	40	IV-A	30	IV-B				
167	2370	GAL 10138-S (RP 10293-SW (RP))	7	9	9	2	1	1	1	1	10	10	41	III-B	31	IV-A				
168	2370	GAL 10138-S (RP 10293-SW (RP))	7	9	9	2	1	1	1	2	10	10	42	III-B	32	IV-A				
169	2370	GAL 10138-S (RP 10293-SW (RP))	4	8	10	2	1													

ITEM	NIVEL	LABOR	CONDICIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES					Agua Subterránea	Orientación Discontinuidades	RMR BASICO	TIPO DE ROCA BASICO	RMR AJUSTADO	TIPO DE ROCA AJUSTADO			
			Resistencia a la Compresión	RQD	Espaciamiento entre Discontinuidad	CONDICIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES										
						Peristencia	Apertura							Rugosidad	Releno	Alteración
201	2370	XC 10051-N (XC 10089-SW(RP-S))	1.- > 260 Mpa 2.- 100-250 Mpa 3.- 50-100 Mpa 4.- 25-50 Mpa 5.- < 25 Mpa	20 17 8 3	20 15 8 8 5.- < 98 mm	1.- < 1m 2.- 1-3 m 3.- 3-10 m 4.- 10-20 m 5.- > 20 m	1.- Cerrada 0 2.- Muy Angosta < 0.1 mm 3.- Angosta 0.1 - 1.0 mm 4.- Abierta 1.0 - 5.0 mm 5.- Muy abierta > 5.0 mm	1.- Muy rugoso 2.- Rugoso 3.- Ligramente rugosa 4.- Ligeramente lisa 5.- Muy lisa	1.- Ninguna 2.- Relleno fino < 5mm 3.- Relleno fino 5mm 4.- Relleno blanco < 5mm 5.- Relleno blanco > 5mm	1.- No alterada 2.- Ligramente 3.- Moderadamente 4.- Atenuada 5.- Descompuesta	1.- Completamente seco 2.- Humedo 3.- Mojado 4.- Saturado 5.- Flujos	0 -2 -5 -12 -12	43	III-B	33	IV-A
202	2370	XC 10051-N (XC 10089-SW(RP-S))	6	10	8	2	2	2	2	10	10	44	III-B	34	IV-A	
203	2370	S/N 2379-N (CHI 10138-9S(GAL))	4	10	10	4	2	2	2	10	10	45	III-B	35	IV-A	
204	2370	S/N 2379-N (CHI 10138-9S(GAL))	4	10	10	4	2	2	2	10	10	44	III-B	34	IV-A	
205	2370	S/N 2379-N (CHI 10138-9S(GAL))	4	10	10	4	2	2	2	10	10	46	III-B	36	IV-A	
206	2370	XC 10051-N (XC 10089-SW(RP-S))	6	10	8	4	1	1	1	10	12	42	III-B	30	IV-B	
207	2370	XC 10051-N (XC 10089-SW(RP-S))	4	10	8	4	1	2	1	10	10	41	III-B	31	IV-A	
208	2370	XC 10051-N (XC 10089-SW(RP-S))	4	10	8	4	2	2	1	10	10	42	III-B	32	IV-A	
209	2370	S/N 2381-N (CHI 10138-4N(EST))	6	8	8	4	2	1	1	2	10	40	IV-A	30	IV-B	
210	2370	S/N 2381-N (CHI 10138-4N(EST))	6	8	8	4	2	1	1	10	10	41	III-B	31	IV-A	
211	2370	S/N 2381-N (CHI 10138-4N(EST))	4	10	8	4	2	1	1	10	10	41	III-B	31	IV-A	
212	2370	XC 10051-N (XC 10089-SW(RP-S))	5	8	7	2	2	3	2	3	10	42	III-B	32	IV-A	
213	2370	XC 10051-N (XC 10089-SW(RP-S))	7	8	7	2	3	3	2	2	10	44	III-B	34	IV-A	
214	2370	XC 10051-N (XC 10089-SW(RP-S))	7	8	7	3	3	3	2	3	10	46	III-B	36	IV-A	
215	2370	EST CC1 (RP 10334-SE(RPPA))	7	8	7	2	2	3	3	3	10	45	III-B	35	IV-A	
216	2370	EST CC1 (RP 10334-SE(RPPA))	6	8	8	2	3	2	3	2	10	45	III-B	37	IV-A	
217	2370	EST CC1 (RP 10334-SE(RPPA))	7	8	7	3	3	3	2	3	10	46	III-B	38	IV-A	
218	2370	S/N 2393-N (CHI 10138-2N(EST))	4	8	10	4	3	1	1	2	10	43	III-B	33	IV-A	
219	2370	S/N 2393-N (CHI 10138-2N(EST))	4	8	10	4	2	1	1	2	10	42	III-B	32	IV-A	
220	2370	S/N 2393-N (CHI 10138-2N(EST))	4	8	10	4	3	1	1	2	10	43	III-B	33	IV-A	
221	2370	CHI 10138-4S (EST 1S(GAL10138S))	6	8	8	4	2	1	1	2	10	42	III-B	32	IV-A	
222	2370	CHI 10138-4S (EST 1S(GAL10138S))	4	8	8	4	2	1	1	1	10	39	IV-A	29	IV-B	
223	2370	CHI 10138-4S (EST 1S(GAL10138S))	6	8	8	4	2	1	1	2	10	42	III-B	32	IV-A	
224	2370	CHI 10138-6S (S/N 2393-S(CH4S))	6	8	8	4	2	1	1	2	10	42	III-B	32	IV-A	
225	2370	CHI 10138-6S (S/N 2393-S(CH4S))	6	8	8	4	2	1	1	2	10	36	IV-A	26	IV-B	
226	2370	CHI 10138-6S (S/N 2393-S(CH4S))	6	8	8	4	2	1	1	2	10	42	III-B	32	IV-A	
227	2370	GAL 10100-S (XC 10334-SE (RP))	4	8	8	2	1	1	1	1	12	38	IV-A	28	IV-B	
228	2370	GAL 10100-S (XC 10334-SE (RP))	4	8	8	2	1	1	1	1	12	38	IV-A	28	IV-B	
229	2370	GAL 10100-S (XC 10334-SE (RP))	4	8	8	2	1	1	1	1	12	38	IV-A	28	IV-B	
230	2370	BP 10031-NW (GAL 10138-S(RP))	4	10	10	4	2	2	1	2	10	45	III-B	35	IV-A	
231	2370	BP 10031-NW (GAL 10138-S(RP))	4	10	8	4	2	1	2	1	10	42	III-B	32	IV-A	
232	2370	BP 10031-NW (GAL 10138-S(RP))	8	10	10	4	2	1	1	1	10	47	III-B	37	IV-A	
233	2370	EST 10 (GAL 10138-S(RP))	6	8	8	2	3	3	2	3	11	40	III-B	36	IV-A	
234	2370	EST 10 (GAL 10138-S(RP))	7	7	8	2	3	3	3	3	11	40	III-B	37	IV-A	
235	2370	EST 10 (GAL 10138-S(RP))	6	7	8	3	4	3	2	3	11	47	III-B	39	IV-A	
236	2370	EST 10 (GAL 10138-S(RP))	6	7	8	2	3	3	2	3	11	44	III-B	34	IV-A	
237	2370	EST 10 (GAL 10138-S(RP))	6	8	8	2	4	3	3	3	12	49	III-B	39	IV-A	
238	2370	EST 10 (GAL 10138-S(RP))	5	7	8	3	3	2	3	3	11	40	III-B	35	IV-A	
239	2370	BP 10082-SE (GAL 10100-S (XC))	4	6	8	1	2	1	2	10	35	IV-A	25	IV-B		
240	2370	BP 10082-SE (GAL 10100-S (XC))	4	5	8	1	2	3	2	2	10	8	37	IV-A	29	IV-B
241	2370	BP 10082-SE (GAL 10100-S (XC))	5	6	8	2	2	3	2	3	10	8	41	III-B	33	IV-A
242	2370	BP 10031-NW (GAL 10138-S(RP))	7	8	8	2	3	3	2	3	10	46	III-B	36	IV-A	
243	2370	BP 10031-NW (GAL 10138-S(RP))	8	9	8	2	4	3	3	4	10	8	51	III-A	43	III-B
244	2370	BP 10031-NW (GAL 10138-S(RP))	7	9	8	3	3	3	4	4	10	50	III-B	40	IV-A	
245	2370	BP 10031-NE (EST 2(BP 10031NW))	7	8	8	4	4	3	2	3	10	5	49	III-B	44	III-B
246	2370	BP 10031-NE (EST 2(BP 10031NW))	7	8	8	4	4	3	1	3	10	5	48	III-B	43	III-B
247	2370	BP 10031-NE (EST 2(BP 10031NW))	7	8	8	2	4	3	2	3	10	5	47	III-B	42	III-B
248	2370	XC 10089-NE (XC 10089-SW(RP-S))	7	8	8	2	4	3	1	3	10	5	46	III-B	41	III-B
249	2370	XC 10089-NE (XC 10089-SW(RP-S))	7	8	8	4	4	3	1	3	10	5	48	III-B	43	III-B
250	2370	XC 10089-NE (XC 10089-SW(RP-S))	7	8	8	4	4	3	2	3	10	5	49	III-B	44	III-B
251	2370	BP 10082-SE (GAL 10100-S (XC))	4	13	5	4	4	3	1	3	10	5	47	III-B	42	III-B
252	2370	BP 10082-SE (GAL 10100-S (XC))	4	11	6	4	3	3	1	3	10	5	45	III-B	40	IV-A
253	2370	BP 10098-S (XC 10334-SE (RP))	4	5	5	2	2	1	1	1	9	5	30	IV-B	25	IV-B
254	2370	BP 10098-S (XC 10334-SE (RP))	6	7	8	2	2	1	1	1	9	10	37	IV-A	27	IV-B
255	2370	BP 10098-S (XC 10334-SE (RP))	4	5	5	2	2	1	1	1	9	5	30	IV-B	25	IV-B
256	2370	GAL 10138-S (RP 10293-SW (RP))	4	8	8	1	1	1	1	1	10	35	IV-A	25	IV-B	
257	2370	GAL 10138-S (RP 10293-SW (RP))	4	8	8	1	1	1	1	1	10	35	IV-A	25	IV-B	
258	2370	GAL 10138-S (RP 10293-SW (RP))	4	8	8	1	1	1	1	1	10	35	IV-A	25	IV-B	
259	2370	BP 10031-NE (EST 2(BP 10031NW))	4	3	8	2	4	3	4	1	7	5	36	IV-A	31	IV-A
260	2370	BP 10031-NE (EST 2(BP 10031NW))	2	3	8	2	4	3	4	1	7	5	36	IV-A	31	IV-A
261	2370	BP 10031-NE (EST 2(BP 10031NW))	4	3	8	2	4	3	4	1	7	5	34	IV-A	29	IV-B
262	2370	XC 9986-S (GAL 10138-S(RP))	7	8	8	1	5	3	4	5	10	5	51	III-A	46	III-B
263	2370	XC 9986-S (GAL 10138-S(RP))	7	8	8	1	5	3	4	5	10	5	51	III-A	46	III-B
264	2370	XC 9986-S (GAL 10138-S(RP))	7	8	8	1	5	3	4	5	10	5	51	III-A	46	III-B
265	2370	EST 1 (RP 10271-S (EST))	4	8	8	1	4	3	2	3	4	5	37	IV-A	32	IV-A
266	2370	EST 1 (RP 10271-S (EST))	4	8	8	1	4	3	2	3	4	5	37	IV-A	32	IV-A
267	2370	EST 1 (RP 10271-S (EST))	4	8	8	1	4	3	2	3	4	5	37	IV-A	32	IV-A
268	2370	S/N 2414-S (CHI 10138-7AS(TJ))	4	8	8	2	1	3	2	5	10	12	43	III-B	31	IV-A
269	2370	S/N 2414-S (CHI 10138-7AS(TJ))	4	8	8	2	1	3	2	5	10	12	43	III-B	31	IV-A
270	2370	S/N 2414-S (CHI 10138-7AS(TJ))	4	8	8	2	1	3	2	5	10	12	43	III-B	31	IV-A
271	2370	S/N 2414-S (CHI 10138-7AS(TJ))	4	8	8	1	1	3	2	5	10	12	42	III-B	30	IV-B
272	2370	S/N 2414-S (CHI 10138-7AS(TJ))	4	8	8	1	1	3	2	5	10	12	42	III-B	30	IV-B
273	2370	S/N 2414-S (CHI 10138-7AS(TJ))	4	8	8	1	1	3	2	5	10	12	42	III-B	30	IV-B
274	2370	S/N 2415-N (CHI 10138-9S (SN))	4	8	8	4	1	3	0	5	10	12	43	III-B	31	IV-A
275	2370	S/N 2415-N (CHI 10138-9S (SN))	4	8	8	4	1	3	0	5	10	12	43	III-B	31	IV-A
276	2370	S/N 2415-N (CHI 10138-9S (SN))	4	8	8	4	1	3	0	5	10	12	43	III-B	31	IV-A
277	2370	S/N 2415-N (CHI 10138-9S (SN))	7	8	8	4	1	3	0	5	10	1				

ITEM	NIVEL	LABOR	OC			Espaciamento entre discontinuidad			CONDICIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES										Agu Subterránea			Orientación Discontinuidades			RMR BASICO	TIPO DE ROCA BASICO	RMR AJUSTADO	TIPO DE ROCA AJUSTADO
			Resistencia a la Compresión			RQD			Persistencia		Apertura		Rugosidad		Relleno		Alteración											
			15	12	7	20	17	8	3	1	4	6	5	6	6	6	6	15	10	7	0	0	-2	-5				
			1.- >250 Mpa 2.- 100-250 Mpa 3.- 50-100 Mpa 4.- 25-50 Mpa 5.- <25 Mpa	20	17	8	3	1- >2m 2.- 0,5-2 m 3.- 0,2-0,5 m 4.- 0,02-0,2 m 5.- <0,02 m	1.- >1m 2.- 1-1,5 m 3.- 0,5-1 m 4.- 0,2-0,5 m 5.- <0,2 m	1.- Corada 0 2.- Muy Angosa < 0,1 mm 3.- Angosa 0,1 - 1,0 mm 4.- 1,0 - 5,0 mm 5.- Mayor a 5,0 mm	1.- Muy rugosa 2.- Rugosa 3.- Ligeramente rugosa 4.- Lisa 5.- Muy lisa	1.- Naturaleza 2.- Relleno duro <5mm 3.- Relleno duro >5mm 4.- Relleno blando >5mm 5.- No rellena	1.- No alterada 2.- Ligeramente 3.- Moderadamente 4.- Altemente 5.- Descompuesta	1.- Completamente seco 2.- Húmedo 3.- Mojado 5.- Flujo	1.- Muy favorable 2.- Favorable 3.- Regular 4.- Desfavorable 5.- Muy desfavorable	39	IV-A	27	IV-B									
301	2370	S/N 2414-S (CHI 10138-7AS(TJ))	4	8	5	1	1	1	1	3	4	3	10	12	39	IV-A	27	IV-B										
302	2370	S/N 2414-S (CHI 10138-7AS(TJ))	4	8	5	1	1	1	1	3	4	3	10	12	39	IV-A	27	IV-B										
303	2370	CHI 10070-4S (GAL 10070-S (EST))	7	13	8	2	1	1	1	3	4	3	10	12	48	III-B	36	IV-A										
304	2370	CHI 10070-4S (GAL 10070-S (EST))	7	13	8	2	1	1	1	3	4	3	10	12	48	III-B	36	IV-A										
305	2370	CHI 10070-4S (GAL 10070-S (EST))	7	13	8	2	1	1	1	3	4	3	10	12	48	III-B	36	IV-A										
306	2370	CHI 10070-4S (GAL 10070-S (EST))	7	13	8	2	1	1	1	3	4	3	10	12	48	III-B	36	IV-A										
307	2370	CHI 10070-4S (GAL 10070-S (EST))	7	13	8	2	1	1	1	3	4	3	10	12	48	III-B	36	IV-A										
308	2370	CHI 10070-4S (GAL 10070-S (EST))	7	13	8	2	1	1	1	3	4	3	10	12	48	III-B	36	IV-A										
309	2370	EST 2 (XC 10051-N(XC-SW))	7	13	8	2	1	1	1	3	4	3	10	10	48	III-B	38	IV-A										
310	2370	EST 2 (XC 10051-N(XC-SW))	7	13	8	2	1	1	1	3	4	3	10	10	48	III-B	38	IV-A										
311	2370	EST 2 (XC 10051-N(XC-SW))	7	13	8	2	1	1	1	3	4	3	10	10	48	III-B	38	IV-A										
312	2370	EST 2 (XC 10051-N(XC-SW))	7	13	8	2	1	1	1	3	4	3	10	10	48	III-B	38	IV-A										
313	2370	EST 2 (XC 10051-N(XC-SW))	7	13	8	2	1	1	1	3	4	3	10	10	48	III-B	38	IV-A										
314	2370	EST 2 (XC 10051-N(XC-SW))	7	13	8	2	1	1	1	3	4	3	10	10	48	III-B	38	IV-A										
315	2370	EST 2 (XC 10051-N(XC-SW))	7	13	8	2	1	1	1	3	4	3	10	10	48	III-B	38	IV-A										
316	2370	EST 2 (XC 10051-N(XC-SW))	7	13	8	2	1	1	1	3	4	3	10	10	48	III-B	38	IV-A										
317	2370	EST 2 (XC 10051-N(XC-SW))	7	13	8	2	1	1	1	3	4	3	10	10	48	III-B	38	IV-A										
318	2370	EST 10065-N (XC 10089-SW(RP-S))	7	13	8	2	1	1	1	3	4	3	10	10	48	III-B	38	IV-A										
319	2370	EST 10065-N (XC 10089-SW(RP-S))	7	13	8	2	1	1	1	3	4	3	10	10	48	III-B	38	IV-A										
320	2370	EST 10065-N (XC 10089-SW(RP-S))	7	7	8	2	1	1	1	3	4	3	10	10	42	III-B	32	IV-A										
321	2370	EST 10065-N (XC 10089-SW(RP-S))	7	13	8	2	1	1	1	3	4	3	10	10	48	III-B	38	IV-A										
322	2370	EST 10065-N (XC 10089-SW(RP-S))	7	13	8	2	1	1	1	3	4	3	10	10	48	III-B	38	IV-A										
323	2370	EST 10065-N (XC 10089-SW(RP-S))	7	13	8	2	1	1	1	3	4	3	10	10	48	III-B	38	IV-A										
324	2370	EST 10183-N (RP PATRICK 3(RP))	12	13	10	1	1	1	1	5	15	12	59	47	III-B	47	III-B	42	III-B									
325	2370	EST 10183-N (RP PATRICK 3(RP))	7	8	8	1	1	1	1	5	15	5	47	47	III-B	47	III-B	42	III-B									
326	2370	EST 10183-N (RP PATRICK 3(RP))	12	8	8	1	1	1	1	5	15	5	52	52	III-A	47	III-B	42	III-B									
327	2370	EST 10183-N (RP PATRICK 3(RP))	12	8	8	4	1	1	1	5	15	10	55	55	III-A	45	III-B	42	III-B									
328	2370	EST 10183-N (RP PATRICK 3(RP))	12	13	10	4	1	1	1	5	15	12	62	62	III-B	50	III-B	42	III-B									
329	2370	EST 10183-N (RP PATRICK 3(RP))	12	8	8	4	1	1	1	5	15	10	57	57	III-A	47	III-B	42	III-B									
330	2370	EST 10183-N (RP PATRICK 3(RP))	7	8	8	1	4	3	4	3	7	5	45	45	III-B	40	IV-A	40	IV-A									
331	2370	EST 10183-N (RP PATRICK 3(RP))	7	8	8	1	4	3	4	3	7	5	45	45	III-B	40	IV-A	40	IV-A									
332	2370	EST 10183-N (RP PATRICK 3(RP))	7	8	8	1	4	3	4	3	7	5	45	45	III-B	40	IV-A	40	IV-A									
333	2370	EST 10183-N (RP PATRICK 3(RP))	7	8	8	1	4	3	4	3	7	5	45	45	III-B	40	IV-A	40	IV-A									
334	2370	EST 10183-N (RP PATRICK 3(RP))	7	8	8	1	4	3	4	3	7	5	45	45	III-B	40	IV-A	40	IV-A									
335	2370	EST 10183-N (RP PATRICK 3(RP))	7	8	8	1	4	3	4	3	7	5	45	45	III-B	40	IV-A	40	IV-A									
336	2370	EST 10183-N (RP PATRICK 3(RP))	7	8	8	1	4	3	4	3	7	5	45	45	III-B	40	IV-A	40	IV-A									
337	2370	EST 10183-N (RP PATRICK 3(RP))	7	8	8	1	4	3	4	3	7	5	45	45	III-B	40	IV-A	40	IV-A									
338	2370	EST 10183-N (RP PATRICK 3(RP))	7	8	8	1	4	3	4	3	7	5	45	45	III-B	40	IV-A	40	IV-A									
339	2370	EST 3 (EST 10262-N (RP))	7	8	8	0	4	3	0	3	10	5	43	43	III-B	38	IV-A	38	IV-A									
340	2370	EST 3 (EST 10262-N (RP))	7	8	8	0	4	3	0	3	10	5	43	43	III-B	38	IV-A	38	IV-A									
341	2370	EST 3 (EST 10262-N (RP))	7	8	8	0	4	3	0	3	10	5	43	43	III-B	38	IV-A	38	IV-A									
342	2370	EST 2 (EST 10262-N (RP))	7	8	8	0	4	3	0	3	10	5	43	43	III-B	38	IV-A	38	IV-A									
343	2370	EST 2 (EST 10262-N (RP))	7	8	8	0	4	3	0	3	10	5	43	43	III-B	38	IV-A	38	IV-A									
344	2370	EST 2 (EST 10262-N (RP))	7	8	8	0	4	3	0	3	10	5	43	43	III-B	38	IV-A	38	IV-A									
345	2370	XC 10150-N (XC 10121-NE (BP))	4	3	5	2	1	3	1	5	15	5	39	39	IV-A	34	IV-A	34	IV-A									
346	2370	XC 10150-N (XC 10121-NE (BP))	4	3	5	2	1	3	1	5	15	5	39	39	IV-A	34	IV-A	34	IV-A									
347	2370	EST 3 (EST 10262-N (RP))	2	8	5	1	0	3	1	3	15	5	38	38	IV-A	33	IV-A	33	IV-A									
348	2370	EST 3 (EST 10262-N (RP))	2	8	5	1	0	3	1	3	15	5	38	38	IV-A	33	IV-A	33	IV-A									
349	2370	XC 10157-N (XC 10121NE(XC-NE))	4	8	5	4	0	1	0	3	15	5	40	40	IV-A	35	IV-A	35	IV-A									
350	2370	XC 10157-N (XC 10121NE(XC-NE))	4	8	5	4	0	1	0	3	15	5	40	40	IV-A	35	IV-A	35	IV-A									
351	2370	XC 10157-N (XC 10121NE(XC-NE))	4	8	5	4	0	1	0	3	15	5	43	43	III-B	38	IV-A	38	IV-A									
352	2370	XC 10157-N (XC 10121NE(XC-NE))	4	8	5	4	1	1	1	15	5	43	43	III-B	38	IV-A	38	IV-A										
353	2320	RP 10187-S (RP PATRICK3(RP-W))	6	6	7	2	1	3	2	3	12	10	42	42	III-B	32	IV-A	32	IV-A									
354	2320	RP 10187-S (RP PATRICK3(RP-W))	6	6	7	2	1	3	2	3	12	10	42	42	III-B	32	IV-A	32	IV-A									
355	2320	RP 10187-S (RP PATRICK3(RP-W))	7	7	8	2	2	3	2	3	12	10	46	46	III-B	36	IV-A	36	IV-A									
356	2320	RP 10187-S (RP PATRICK3(RP-W))	7	7	8	2	2	3	2	3	12	10	46	46	III-B	36	IV-A	36	IV-A									
357	2320	RP 10187-S (RP PATRICK3(RP-W))	4	8	8	2	1	2	1	1	10	10	37	37	IV-A	27	IV-B	27	IV-B									
358	2320	RP 10187-S (RP PATRICK3(RP-W))	4	8	8	2	1	2	1	1	10	10	37	37	IV-A	27	IV-B	27	IV-B									
359	2320	RP 10187-S (RP PATRICK3(RP-W))	4	8	8	2	1	2	1	1	10	10	37	37	IV-A	27	IV-B	27	IV-B									
360	2320	RP 10187-S (RP PATRICK3(RP-W))	4	8	8	2	1	2	1	1	10	10	37	37	IV-A	27	IV-B	27	IV-B									
361	2320	RP 10187-S (RP PATRICK3(RP-W))	7	5	5	2	1	3	1	3	15	10	42	42	III-B	32	IV-A	32	IV-A									
362	2320	RP 10187-S (RP PATRICK3(RP-W))	7	5	5	2	1	3	1	3	15	10	42	42	III-B	32	IV-A	32	IV-A									
363	2320	RP 10187-S (RP PATRICK3(RP-W))	8	6	6	3	2	3	2	3	15	10	48	48	III-B	38	IV-A	38	IV-A									
364	2320	RP 10187-S (RP PATRICK3(RP-W))	8	6	6	3	2	3	2	3	15	10	48	48	III-B	38	IV-A	38	IV-A									
365	2320	RP 10187-S (RP PATRICK3(RP-W))	6	8	8	2	1	2	2	3	13	10	45	45														

ITEM	NIVEL	LABOR	Resistencia a la Compresión		RQD	Espaciamiento entre Discontinuidades					CONDICIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES					Agua Subterránea		Orientación Discontinuidades		RMR BASICO	TIPO DE ROCA BASICO	RMR AJUSTADO	TIPO DE ROCA AJUSTADO		
			15	12		Persistencia	Apertura	Rugosidad	Relleno	Alteración	15	7	0	0	0	0									
			4	2																					
401	2320	XC 10089-SW (RP 10187-S(RPPAT))	1.- > 250 Mpa	6	7	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	44	III-B	34	IV-A		
402	2320	XC 10089-SW (RP 10187-S(RPPAT))	2.- 100-250 Mpa	7	7	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	46	III-B	36	IV-A		
403	2320	XC 10089-SW (RP 10187-S(RPPAT))	3.- 50-100 Mpa	7	7	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	47	III-B	37	IV-A		
404	2320	GAL 10056-N (XC 10078-SW (RP))	4.- 25-50 Mpa	6	7	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	43	III-B	35	IV-A		
405	2320	GAL 10056-N (XC 10078-SW (RP))	5.- < 25 Mpa	6	7	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	45	III-B	37	IV-A		
406	2320	GAL 10056-N (XC 10078-SW (RP))	1.- 90-100%	7	7	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	47	III-B	39	IV-A		
407	2320	GAL 10056-N (XC 10078-SW (RP))	2.- 50-75%	6	7	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	46	III-B	38	IV-A		
408	2320	XC 10089-SW (RP 10187-S(RPPAT))	3.- 25-50%	7	10	8	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	54	III-A	49	III-B		
409	2320	XC 10089-SW (RP 10187-S(RPPAT))	4.- 25-50%	4	10	10	1	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	49	III-B	39	IV-A		
410	2320	XC 10089-SW (RP 10187-S(RPPAT))	5.- < 25%	4	8	8	1	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	45	III-B	40	IV-A		
411	2320	XC 10078-SW (RP 10124-SW (EST))	1.- < 1m	5	10	10	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	10	47	III-B	37	IV-A	
412	2320	XC 10078-SW (RP 10124-SW (EST))	1.- < 1m	5	10	10	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	10	46	III-B	36	IV-A	
413	2320	XC 10078-SW (RP 10124-SW (EST))	1.- < 1m	5	10	10	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	10	46	III-B	36	IV-A	
414	2320	XC 10078-SW (RP 10124-SW (EST))	1.- < 1m	5	10	10	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	10	47	III-B	37	IV-A	
415	2320	XC 10064-SW (GAL 10056-N (XC))	1.- < 1m	7	10	8	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	10	8	46	III-B	38	IV-A
416	2320	XC 10064-SW (GAL 10056-N (XC))	1.- < 1m	7	10	8	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	10	8	45	III-B	37	IV-A
417	2320	XC 10064-SW (GAL 10056-N (XC))	1.- < 1m	7	10	8	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	10	8	46	III-B	38	IV-A
418	2320	XC 10066-NW (XC 10064-SW (GAL))	1.- < 1m	7	10	8	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	12	12	49	III-B	37	IV-A
419	2320	XC 10066-NW (XC 10064-SW (GAL))	1.- < 1m	6	10	8	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	12	10	46	III-B	36	IV-A
420	2320	XC 10066-NW (XC 10064-SW (GAL))	1.- < 1m	6	10	10	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	12	10	48	III-B	38	IV-A
421	2320	XC 10066-NW (XC 10064-SW (GAL))	1.- < 1m	7	10	10	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	12	10	51	III-A	41	III-B
422	2320	EST CC1 (XC 10078-SW (RP))	1.- < 1m	4	8	8	2	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	10	39	IV-A	29	IV-B	
423	2320	EST CC1 (XC 10078-SW (RP))	1.- < 1m	4	8	8	2	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	10	41	III-B	31	IV-A	
424	2320	EST CC1 (XC 10078-SW (RP))	1.- < 1m	4	8	8	2	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	10	41	III-B	31	IV-A	
425	2320	EST CC1 (XC 10078-SW (RP))	1.- < 1m	4	8	8	2	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	10	41	III-B	31	IV-A	
426	2320	GAL 10093-N (XC 10066-NW (XC))	1.- < 1m	6	8	8	4	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	10	10	44	III-B	34	IV-A
427	2320	GAL 10093-N (XC 10066-NW (XC))	1.- < 1m	6	10	8	4	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	10	10	46	III-B	36	IV-A
428	2320	GAL 10093-N (XC 10066-NW (XC))	1.- < 1m	6	10	8	4	2	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	10	10	48	III-B	38	IV-A
429	2320	GAL 10093-N (XC 10066-NW (XC))	1.- < 1m	6	10	8	4	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	10	10	47	III-B	37	IV-A
430	2320	RP PATRICK 3 (RP 10117-S(RPPAT))	1.- < 1m	4	10	8	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	10	12	40	IV-A	28	IV-B
431	2320	RP PATRICK 3 (RP 10117-S(RPPAT))	1.- < 1m	4	10	8	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	10	12	40	IV-A	28	IV-B
432	2320	RP PATRICK 3 (RP 10117-S(RPPAT))	1.- < 1m	6	10	8	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	10	10	43	III-B	33	IV-A
433	2320	RP PATRICK 3 (RP 10117-S(RPPAT))	1.- < 1m	6	10	8	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	10	10	43	III-B	33	IV-A
434	2320	GAL 10093-N (XC 10066-NW (XC))	1.- < 1m	6	8	7	2	3	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	10	10	44	III-B	34	IV-A
435	2320	GAL 10093-N (XC 10066-NW (XC))	1.- < 1m	7	8	7	2	3	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	10	9	45	III-B	36	IV-A
436	2320	GAL 10093-N (XC 10066-NW (XC))	1.- < 1m	7	8	7	3	4	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	10	8	47	III-B	39	IV-A
437	2320	RP PATRICK 3 (RP 10117-S(RPPAT))	1.- < 1m	6	8	8	2	2	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	10	8	43	III-B	35	IV-A
438	2320	RP PATRICK 3 (RP 10117-S(RPPAT))	1.- < 1m	4	8	8	2	2	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	10	8	42	III-B	34	IV-A
439	2320	RP PATRICK 3 (RP 10117-S(RPPAT))	1.- < 1m	7	8	8	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	10	8	46	III-B	38	IV-A
440	2320	GAL 10093-N (XC 10066-NW (XC))	1.- < 1m	4	10	8	4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	10	10	41	III-B	31	IV-A
441	2320	GAL 10093-N (XC 10066-NW (XC))	1.- < 1m	4	8	8	4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	10	5	38	IV-A	33	IV-A
442	2320	GAL 10093-N (XC 10066-NW (XC))	1.- < 1m	5	8	8	4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	10	8	40	IV-A	32	IV-A
443	2320	GAL 10093-N (XC 10066-NW (XC))	1.- < 1m	4	8	10	4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	10	10	40	IV-A	30	IV-B
444	2320	RP PATRICK 3 (RP 10117-S(RPPAT))	1.- < 1m	6	8	8	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	10	10	41	III-B	31	IV-A
445	2320	RP PATRICK 3 (RP 10117-S(RPPAT))	1.- < 1m	6	8	8	2	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	10	5	40	IV-A	35	IV-A
446	2320	RP PATRICK 3 (RP 10117-S(RPPAT))	1.- < 1m	8	8	8	2	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	10	10	41	III-B	31	IV-A
447	2320	RP PATRICK 3 (RP 10117-S(RPPAT))	1.- < 1m	8	8	8	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	10	10	40	IV-A	30	IV-B
448	2320	RP PATRICK 3 (RP 10117-S(RPPAT))	1.- < 1m	4	6	8	2	1	2	2	1	3	1	3	1	3	1	3	1	10	10	37	IV-A	27	IV-B
449	2320	RP PATRICK 3 (RP 10117-S(RPPAT))	1.- < 1m	4	7	8	2	3	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	10	8	42	III-B	34	IV-A
450	2320	RP PATRICK 3 (RP 10117-S(RPPAT))	1.- < 1m	5	6	8	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	10	8	42	III-B	34	IV-A
451	2320	RP PATRICK 3 (RP 10117-S(RPPAT))	1.- < 1m	4	8	8	2	4	1	1	1	6	1	6	1	6	1	6	1	10	10	44	III-B	34	IV-A
452	2320	RP PATRICK 3 (RP 10117-S(RPPAT))	1.- < 1m	4	8	8	1	4	1	1	1	5	1	5	1	5	1	5	1	10	10	42	III-B	32	IV-A
453	2320	RP PATRICK 3 (RP 10117-S(RPPAT))	1.- < 1m	4	6	8	1	4	1	1	1	5	1	5	1	5	1	5	1	10	10	40	IV-A	30	IV-B
454	2320	RP PATRICK 3 (RP 10117-S(RPPAT))	1.- < 1m	4	8	8	1	4	1	1	1	5	1	5	1	5	1	5	1						





**DESCRIPCION DEL MACIZO ROCOSO**

Estacion Geotecnica: EG-01      Norte: 9110233.628  
 Fecha: 10/03/18      Labor: VALERIA IV      Este: 230611.732  
 Resistencia: 87 Mpa      Zona: 28584      Nivel: 2320      Cota: 2322.358  
 Efecto voladura: 0.4

N°	Dip	Ddir	Litologia	Espac cm	Persist m	Rug < esc	Rug > esc	Tipo Relleno	Resist. Relleno	Apertura Relleno (mm)	Alteración	T/C	Humedad	Observaciones	Set
1	83	340	DIORITA	90	3	3	Ond/Rugoso	SI	R2	1	Ligeramente	Di	Humedo		
2	87	335	DIORITA	60	2.5	3	Ond/Liso	SI	R3	2	Ligeramente	Di	Humedo		3
3	62	212	DIORITA	70	3	3	Ond/Liso	SI	R4	1	Ligeramente	Di	Humedo		
4	69	227	DIORITA	70	0.5	6	Ond/Liso	SI	R4	1	Ligeramente	Di	Humedo		
5	84	235	DIORITA	30	1.5	5	Ond/Liso	Arc	S3	1	Ligeramente	Di	Humedo		1
6	73	64	DIORITA	46	3	2	Ond/Liso	Pz	S2	1	Ligeramente	Di	Humedo		
7	87	229	DIORITA	60	2.3	5	Ond/Liso	Arc	S3	1	Ligeramente	Di	Humedo		1
8	87	165	DIORITA	30	0.55	3	Ond/Liso	Arc	S3	1	Moderadamente	Di	Seco		2
9	52	62	DIORITA	60	3.5	3	Esc/Liso	Arc	S3	1	Moderadamente	Di	Seco		
10	85	53	DIORITA	60	0.65	3	Esc/Liso	Arc	S3	2	Ligeramente	Di	Seco		
11	88	52	DIORITA	40	1.05	1	Esc/Liso	Arc	S3	1	Moderadamente	Di	Seco		
12	88	54	DIORITA	45	0.8	5	Esc/Liso	Arc	S3	1	Ligeramente	Di	Seco		
13	89	56	DIORITA	30	0.52	3	Esc/Liso	SI	R2	1	Ligeramente	Di	Seco		
14	89	41	DIORITA	35	1	3	Esc/Liso	Arc	S3	1	Ligeramente	Di	Seco		
15	74	286	DIORITA	20	2	5	Esc/Liso	Arc	S3	1	Ligeramente	Di	Humedo		
16	85	235	DIORITA	25	1	5	Esc/Liso	Arc	S3	1	Moderadamente	Di	Seco		1
17	83	282	P.TONALITICO	30	3	3	Esc/Liso	Arc	S3	1	Ligeramente	Di	Seco		
18	53	324	P.TONALITICO	70	0.2	3	Esc/Liso	Arc	S3	1	Ligeramente	Di	Seco		
19	85	270	P.TONALITICO	70	0.5	5	Esc/Liso	Arc	S3	1	Ligeramente	Di	Seco		
20	57	304	P.TONALITICO	40	0.8	7	Esc/Liso	Arc	S3	1	Ligeramente	Di	Humedo		
21	74	110	P.TONALITICO	40	2.8	3	Ond/Pulido	Arc	S3	1	Ligeramente	Di	Seco		
22	88	236	P.TONALITICO	14	3	5	Ond/Rugoso	SI	R2	1	Ligeramente	Di	Seco		1
23	88	341	P.TONALITICO	10	2	5	Ond/Rugoso	SI	R2	1	Ligeramente	Di	Seco		3
24	89	240	P.TONALITICO	10	0.5	5	Ond/Rugoso	SI	R2	1	Ligeramente	Di	Seco		1
25	22	55	P.TONALITICO	40	1	9	Ond/Rugoso	SI	R2	1	Ligeramente	Di	Seco		1
26	85	246	P.TONALITICO	40	0.9	5	Ond/Liso	Arc	S3	1	Ligeramente	Di	Seco		
27	88	80	P.TONALITICO	20	0.5	5	Ond/Liso	Arc	S3	1	Ligeramente	Di	Seco		
28	62	110	P.TONALITICO	40	0.4	3	Ond/Liso	Arc	S3	1	Moderadamente	Di	Seco		
29	79	152	P.TONALITICO	-	10	1	Ond/Liso	Arc	S4	100	Moderadamente	Fa	Seco	Falla	1
30	75	235	P.TONALITICO	-	3	3	Ond/Liso	Arc	S5	30	Moderadamente	Fa	Seco	Falla	
31	75	346	P.TONALITICO	-	3	5	Ond/Liso	Arc	S6	150	Ligeramente	Fa	Seco	Falla	
32	82	234	P.TONALITICO	35	2	5	Ond/Liso	SI	R2	2	Ligeramente	Di	Seco		1
33	84	165	P.TONALITICO	20	2	1	Ond/Liso	SI	R2	1	Ligeramente	Di	Seco		2
34	89	161	P.TONALITICO	-	1	1	Ond/Liso	SI	R2	1	Ligeramente	Di	Seco		
35	62	229	P.TONALITICO	40	1.5	3	Ond/Liso	Arc	S3	1	Ligeramente	Di	Seco		2
36	66	248	P.TONALITICO	40	1.5	5	Ond/Liso	Arc	S3	1	Ligeramente	Di	Seco		
37	73	245	P.TONALITICO	40	0.5	3	Ond/Liso	Arc	S3	1	Moderadamente	Di	Seco		
38	78	235	P.TONALITICO	40	2	5	Ond/Liso	Arc	S3	1	Moderadamente	Di	Seco		1
39	81	300	P.TONALITICO	100	1	3	Ond/Rugoso	Arc	S3	1	Moderadamente	Di	Humedo		
40	78	227	P.TONALITICO	40	1	3	Ond/Pulido	Arc	S3	1	Moderadamente	Di	Seco		1
41	69	159	P.TONALITICO	50	1	5	Ond/Liso	Arc	S3	1	Moderadamente	Di	Seco		
42	73	230	P.TONALITICO	40	3.4	3	Ond/Pulido	SI	R2	1	Ligeramente	Di	Seco		
43	67	317	P.TONALITICO	50	2	3	Ond/Pulido	SI	R2	1	Moderadamente	Di	Seco		
44	61	8	P.TONALITICO	40	2.5	3	Ond/Pulido	SI	R2	1	Moderadamente	Di	Seco		
45	81	100	P.TONALITICO	100	1.5	2	Plan/Rugoso	SI	R2	1	Ligeramente	Di	Seco		
46	76	171	P.TONALITICO	40	1	4	Esc/Pulido	Arc	S3	1	Ligeramente	Di	Seco		
47	60	238	P.TONALITICO	90	1	4	Esc/Pulido	Arc	S3	1	Moderadamente	Di	Seco		
48	85	100	P.TONALITICO	30	2	2	Plan/Liso	Arc	S3	1	Moderadamente	Di	Seco		
49	70	345	P.TONALITICO	90	3.5	2	Plan/Liso	Arc	S3	1	Moderadamente	Di	Seco		
50	40	245	P.TONALITICO	-	2	2	Plan/Liso	Arc	S3	1	Moderadamente	Fa	Seco	Falla	

**Martillo Schmidt (realizar 20 mediciones)**  
 Indice de rebote (mat 1)      4.4 / 4.2 / 3.8 / 4.0 / 4.5 / 4.0 / 4.3 / 4.1 / 4.0 / 4.1 / 3.4 / 3.5 / 3.7 / 3.2 / 3.8 / 2.7 / 4.3 / 3.6 / 3.8 / 4.2  
 Indice de rebote (mat 2)      3.8 / 2.5 / 3.4 / 3.1 / 4.0 / 3.1 / 2.4 / 3.0 / 3.5 / 3.3 / 3.1 / 3.4 / 3.1 / 4.0 / 3.1 / 2.4 / 3.0 / 3.4 / 3.0 / 2.4

Orientacion del equipo:

**DESCRIPCION DEL MACIZO ROCOSO**

Estación Geotécnica: EG-02 Norte: 9,110,242.468  
 Fecha: 20/03/18 Este: 230,551.561  
 Resistencia: 85 Mpa. Cota: 2,322.490  
 BP 10203-NW Zona: VALERIA IV  
 C Lab: 27480 Nivel: 23.20  
 Efecto voladura: 0.2

N°	Dip	Ddir	Litología	Espac cm	Persist m	Rug < esc	Rug > esc	Tipo Relleno	Resist. Relleno	Apertura Relleno (mm)	Alteración	T/C	Humedad	Observaciones	Set
1	63	159	P GRANITICO	40	1.6	3	Esc/Liso	Si	R4	0.5	Ligeramente	DIACLASA	Humedo		
2	65	234	P GRANITICO	58	0.8	3	Esc/Liso	Si	R4	0.5	Ligeramente	DIACLASA	Humedo		1
3	47	20	P GRANITICO	56	1.5	3	Esc/Rugoso	Si	R4	2	Ligeramente	DIACLASA	Humedo		2
4	75	245	P GRANITICO	70	1	3	Ond/Rugoso	Si	R4	0.5	Ligeramente	DIACLASA	Humedo		1
5	61	194	P GRANITICO	56	0.8	2	Ond/Liso	Arc	S4	0.5	Ligeramente	DIACLASA	Humedo		1
6	72	223	P GRANITICO	10	0.1	2	Esc/Liso	Arc	S4	0.5	Ligeramente	DIACLASA	Humedo		1
7	48	304	P GRANITICO	30	0.75	2	Ond/Pulido	Arc	S3	0.5	Moderadamente	DIACLASA	Humedo		
8	60	131	P GRANITICO	15	0.25	5	Esc/Pulido	Si	R4	0.5	Ligeramente	DIACLASA	Mojado		
9	58	10	P GRANITICO	64	1.6	2	Esc/Pulido	Arc	S3	0.5	Moderadamente	DIACLASA	Mojado		2
10	89	340	P GRANITICO	48	0.1	2	Esc/Pulido	Si	R4	2	Ligeramente	DIACLASA	Humedo		4
11	86	351	P GRANITICO	30	0.5	2	Esc/Pulido	Si	R4	0.5	Ligeramente	DIACLASA	Humedo		4
12	58	241	P GRANITICO	20	0.8	2	Ond/Liso	Arc	S3	0.5	Ligeramente	DIACLASA	Humedo		1
13	89	342	P GRANITICO	-	0	5	Ond/Rugoso	Arc	S3	5	Moderadamente	FALLA	Mojado		4
14	23	91	P GRANITICO	40	3	6	Ond/Rugoso	Si	R4	0.5	Ligeramente	DIACLASA	Humedo		4
15	81	347	P GRANITICO	-	10	2	Ond/Liso	Arc	R4	0.5	Moderadamente	DIACLASA	Humedo		4
16	58	12	P GRANITICO	80	2	2	Ond/Liso	Arc	S3	0.5	Moderadamente	DIACLASA	Humedo		2
17	86	53	P GRANITICO	30	0.7	3	Plan/Rugoso	Si	R4	0.5	Ligeramente	DIACLASA	Humedo		3
18	60	355	P GRANITICO	18	0.5	2	Ond/Liso	Arc	S3	0.5	Ligeramente	DIACLASA	Humedo		2
19	89	58	P GRANITICO	35	0.5	3	Esc/Pulido	Arc	S3	0.5	Ligeramente	DIACLASA	Humedo		3
20	58	161	P GRANITICO	55	0.4	2	Ond/Liso	Arc	S3	0.5	Ligeramente	DIACLASA	Humedo		
21	83	144	P GRANITICO	40	1	4	Ond/Rugoso	Arc	S3	0.5	Moderadamente	DIACLASA	Humedo		
22	86	213	P GRANITICO	40	2	2	Esc/Pulido	Arc	S3	0.5	Ligeramente	DIACLASA	Humedo		3
23	84	52	P GRANITICO	35	0.5	3	Ond/Liso	Arc	S3	0.5	Ligeramente	DIACLASA	Humedo		2
24	52	359	P GRANITICO	30	0.4	2	Esc/Pulido	Arc	S3	0.1	Ligeramente	DIACLASA	Humedo		2
25	88	297	P GRANITICO	20	1.1	4	Ond/Rugoso	Arc	S3	0.1	Moderadamente	DIACLASA	Humedo		
26	81	37	P GRANITICO	45	1	2	Esc/Pulido	Arc	S3	0.1	Moderadamente	DIACLASA	Humedo		2
27	87	315	P GRANITICO	20	1.5	4	Ond/Rugoso	Arc	S3	0.1	Ligeramente	DIACLASA	Humedo		2
28	65	12	P GRANITICO	40	0.5	2	Esc/Pulido	Arc	S3	0.1	Ligeramente	DIACLASA	Humedo		3
29	84	57	P GRANITICO	38	1.5	1	Plan/Rugoso	Arc	S3	0.5	Ligeramente	DIACLASA	Humedo		2
30	53	2	P GRANITICO	60	0.4	2	Esc/Liso	Arc	S3	0.5	Ligeramente	DIACLASA	Humedo		
31	89	358	P GRANITICO	55	0.3	2	Esc/Pulido	Arc	S3	0.5	Ligeramente	DIACLASA	Humedo		
32	80	125	P GRANITICO	-	0	2	Ond/Liso	Arc	S3	0.5	Ligeramente	FALLA	Humedo	falla	1
33	74	214	P GRANITICO	35	3	2	Ond/Pulido	Arc	S3	0.5	Moderadamente	DIACLASA	Humedo		
34	75	317	P GRANITICO	45	1.2	4	Ond/Pulido	Arc	S3	0.5	Moderadamente	DIACLASA	Humedo		1
35	62	227	P GRANITICO	38	1.4	4	Ond/Pulido	Arc	S3	0.5	Moderadamente	DIACLASA	Humedo		1
36	69	225	GRANITO	35	1.3	3	Esc/Pulido	Arc	S3	0.5	Moderadamente	DIACLASA	Humedo		2
37	56	320	GRANITO	35	1.3	3	Esc/Pulido	Arc	S3	0.5	Moderadamente	DIACLASA	Humedo		1
38	52	10	GRANITO	20	1.2	2	Esc/Pulido	Arc	S3	0.5	Moderadamente	DIACLASA	Humedo		2
39	72	218	GRANITO	45	2	2	Esc/Pulido	Arc	S3	0.5	Moderadamente	DIACLASA	Humedo		1
40	89	330	GRANITO	40	3	5	Ond/Rugoso	Arc	S3	0.5	Moderadamente	DIACLASA	Humedo		4
41	71	37	GRANITO	35	1.3	3	Plan/Rugoso	Arc	S3	0.5	Ligeramente	DIACLASA	Humedo		
42	81	345	GRANITO	25	0.9	4	Ond/Rugoso	Arc	S3	0.5	Ligeramente	DIACLASA	Humedo		4
43	70	24	GRANITO	25	0.9	5	Ond/Rugoso	Arc	S3	0.5	Ligeramente	DIACLASA	Humedo		
44	71	170	GRANITO	55	3	3	Ond/Rugoso	Arc	S3	0.5	Ligeramente	DIACLASA	Humedo		2
45	54	15	GRANITO	105	1.15	3	Esc/Pulido	Arc	S3	0.5	Ligeramente	DIACLASA	Humedo		1
46	64	232	GRANITO	48	3.5	2	Ond/Pulido	Arc	S3	0.5	Ligeramente	DIACLASA	Humedo		2
47	47	28	GRANITO	85	1.2	2	Esc/Pulido	Arc	S3	0.5	Ligeramente	DIACLASA	Humedo		
48	84	326	GRANITO	38	2	3	Esc/Pulido	Arc	S3	0.5	Ligeramente	DIACLASA	Humedo		
49	71	139	GRANITO	55	0.5	2	Ond/Liso	Arc	S3	1	Ligeramente	DIACLASA	Humedo		
50	69	235	GRANITO	38	2	2	Plan/Rugoso	Arc	S3	0.5	Ligeramente	DIACLASA	Humedo		1

**Martillo Schmidt (realizar 20 mediciones)**  
 Índice de rebote (mat 1) Orientación del equipo: 3.3 / 2.5 / 3.4 / 3.1 / 3.4 / 3.1 / 3.5 / 3.6 / 3.8 / 3.0 / 3.3 / 3.6 / 3.8 / 3.5 / 3.2 / 2.8 / 3.8 / 4.0 / 3.0 / 3.4  
 Índice de rebote (mat 2) 3.5 / 4.2 / 4.1 / 4.3 / 2.8 / 3.0 / 3.4 / 3.5 / 4.2 / 4.1 / 4.3 / 2.8 / 3.6 / 3.0 / 3.4 / 3.8 / 4.3 / 4.1 / 3.1

**Estacion Geotecnica:** EG-03 **DESCRIPCION DEL MACIZO ROCOSO**  
**Fecha:** 23/03/18 **Labor:** RAMPA PATRICK 3 **C Lab:** 29071 **Nivel:** 2270 **Norte:** 9,110,062.131  
**Resistencia:** 85 Mpa **Efecto voladura:** 0.4 **Zona:** VALERIA IV **Este:** 230,752,990  
**Cota:** 2,269,695

N°	Dip	Ddir	Litologia	Espac cm	Persist m	Rug < esc	Rug > esc	Tipo Relleno	Resist. Relleno	Apertura Relleno (mm)	Alteración	T/C	Humedad	Observaciones	Set
1	58	212	DIORITA	90	1.2	2	Ond/Liso	Arc	S2	0.5	Ligeramente	Di	Seco		
2	83	130	DIORITA	50	1	3	Ond/Liso	Arc	S2	0.5	Ligeramente	Di	Seco		
3	67	333	DIORITA	20	1.5	2	Esc/Pulido	Arc	S2	0.5	Ligeramente	Di	Seco		
4	88	206	DIORITA	20	1.1	3	Esc/Pulido	Arc	S2	0.5	Ligeramente	Di	Seco		
5	89	205	DIORITA	15	0.9	3	Esc/Pulido	Arc	S2	0.5	Ligeramente	Di	Seco		
6	46	293	DIORITA	10	0.9	3	Esc/Pulido	Arc	S2	0.5	Ligeramente	Di	Seco		
7	44	93	DIORITA	15	1	3	Esc/Pulido	Arc	S2	1	Ligeramente	Di	Seco		1
8	76	15	DIORITA	15	1	3	Esc/Pulido	Arc	S2	1	Ligeramente	Di	Seco		3
9	74	13	DIORITA	15	1.1	2	Esc/Pulido	Arc	S2	1	Ligeramente	Di	Humedo		3
10	73	275	DIORITA	20	1.1	3	Esc/Pulido	Arc	S2	0.5	Ligeramente	Di	Seco		
11	78	171	DIORITA	20	0.5	3	Esc/Pulido	Arc	S2	0.5	Ligeramente	Di	Seco		
12	72	15	DIORITA	12	0.56	2	Esc/Pulido	Arc	S2	0.5	Ligeramente	Di	Seco		3
13	86	16	DIORITA	11	0.9	3	Esc/Pulido	Arc	S2	0.5	Ligeramente	Fa	Humedo		3
14	88	20	DIORITA	7	0.4	3	Esc/Pulido	Arc	S2	0.5	Ligeramente	Di	Humedo		3
15	74	287	DIORITA	12	0.73	3	Esc/Liso	Arc	S2	0.5	Ligeramente	Di	Seco		
16	81	202	DIORITA	14	0.83	3	Esc/Liso	Arc	S2	0.5	No meteorizada	Di	Seco		
17	87	355	DIORITA	17	0.58	3	Ond/Rugoso	Arc	S2	0.5	No meteorizada	Di	Seco		3
18	85	186	DIORITA	36	0.58	3	Ond/Rugoso	Arc	S2	0.5	No meteorizada	Di	Seco		
19	83	116	DIORITA	47	0.95	4	Ond/Rugoso	Arc	S2	0.5	No meteorizada	Di	Seco		2
20	65	204	DIORITA	34	0.65	3	Esc/Liso	Arc	S2	0.5	No meteorizada	Di	Seco		
21	81	165	DIORITA	14	0.95	2	Plan/Rugoso	Arc	S2	0.5	No meteorizada	Di	Seco		
22	84	189	DIORITA	25	0.95	4	Esc/Rugoso	Arc	S2	0.5	No meteorizada	Di	Seco		
23	56	92	DIORITA	9	1.1	2	Esc/Pulido	Arc	S2	0.5	No meteorizada	Di	Seco		1
24	87	295	DIORITA	20	0.9	2	Ond/Liso	Arc	S2	0.5	No meteorizada	Di	Seco		
25	71	104	DIORITA	58	0.65	2	Ond/Liso	Arc	S2	0.5	No meteorizada	Di	Seco		
26	62	89	DIORITA	8	0.35	2	Ond/Liso	Arc	S2	0.5	No meteorizada	Di	Seco		1
27	68	204	DIORITA	28	0.8	3	Ond/Liso	Arc	S2	0.5	No meteorizada	Di	Seco		
28	70	244	DIORITA	28	0.7	3	Ond/Liso	Arc	S2	0.5	No meteorizada	Di	Seco		
29	79	359	DIORITA	28	0.48	2	Ond/Liso	Arc	S2	0.5	No meteorizada	Di	Seco		3
30	63	262	DIORITA	20	0.65	2	Esc/Liso	Arc	S2	0.5	No meteorizada	Di	Seco		
31	80	175	P TONALITICO	18	1.1	4	Esc/Rugoso	Arc	S2	0.5	No meteorizada	Di	Humedo		
32	76	300	P TONALITICO	12	2	3	Esc/Liso	Arc	S2	0.5	No meteorizada	Di	Humedo		
33	86	358	P TONALITICO	11	1	2	Esc/Liso	Arc	S2	0.5	No meteorizada	Di	Humedo		3
34	66	334	P TONALITICO	22	1.2	2	Esc/Liso	Si	S2	0.5	No meteorizada	Di	Humedo		
35	89	70	P TONALITICO	40	0.57	2	Esc/Liso	Arc	S2	0.5	No meteorizada	Di	Humedo		
36	83	24	P TONALITICO	14	1.5	2	Ond/Liso	Arc	S2	0.5	No meteorizada	Di	Humedo		3
37	88	95	P TONALITICO	42	1.1	3	Esc/Liso	Si	S2	0.5	No meteorizada	Di	Humedo		2
38	88	110	P TONALITICO	32	1.2	3	Esc/Liso	Si	S2	0.5	No meteorizada	Di	Humedo		3
39	86	11	P TONALITICO	50	1.2	3	Esc/Liso	Si	S2	0.5	No meteorizada	Di	Humedo		1
40	44	90	P TONALITICO	26	0.2	4	Esc/Liso	Si	S2	0.5	No meteorizada	Di	Humedo		1
41	44	85	P TONALITICO	26	1.1	3	Esc/Liso	Si	S2	0.5	No meteorizada	Di	Humedo		1
42	59	340	P TONALITICO	6	1.05	2	Ond/Pulido	Arc	S2	0.5	No meteorizada	Di	Humedo		1
43	56	66	P TONALITICO	30	0.52	3	Ond/Liso	Arc	S2	0.5	No meteorizada	Di	Humedo		1
44	35	78	P TONALITICO	19	1.2	2	Ond/Liso	Si	S2	0.5	No meteorizada	Di	Humedo		1
45	51	88	P TONALITICO	18	1.2	2	Ond/Liso	Arc	S2	0.5	No meteorizada	Di	Humedo		1
46	87	140	P TONALITICO	17	3	2	Ond/Liso	Arc	S2	0.5	No meteorizada	Di	Humedo		1
47	44	83	P TONALITICO	18	1.2	4	Ond/Pulido	Ok	S2	0.5	No meteorizada	Di	Humedo		1
48	56	90	P TONALITICO	23	1.5	3	Esc/Pulido	Ok	S2	1	No meteorizada	Di	Humedo		1
49	35	78	P TONALITICO	30	2	3	Ond/Liso	Ok	S2	0.5	No meteorizada	Di	Humedo		1
50	83	354	P TONALITICO	37	1.8	3	Ond/Liso	Arc	S2	0.5	No meteorizada	Di	Humedo		3

**Martillo Schmidt (realizar 20 mediciones)**  
 indice de rebote (mat 1) 3.5 / 4.2 / 3.0 / 3.0 / 3.8 / 3.3 / 3.6 / 3.9 / 3.5 / 4.2 / 3.0 / 3.0 / 3.4 / 3.8 / 4.3 / 4.4 / 3.8 / 3.3 / 5.1 / 4.6  
 indice de rebote (mat 2) 3.5 / 3.2 / 2.4 / 3.0 / 3.4 / 2.5 / 3.5 / 3.1 / 3.5 / 3.8 / 2.5 / 3.4 / 3.1 / 4.0 / 3.1 / 2.4 / 3.0 / 3.4 / 3.0 / 2.4

Orientacion del equipo:

**DESCRIPCION DEL MACIZO ROCOSO**

**Estacion Geotecnica:** EG-04 Norte: 9,110,300.186  
**Fecha:** 01/04/18 Este: 230,640.206  
**Resistencia:** 9.6 MPa Cota: 2,372.966  
**C Lab:** 28584 Zona: VALERIA IV  
**Efecto voladura:** 0.0050 Nivel: 2370  
Apertura Relleno (mm): 0.5

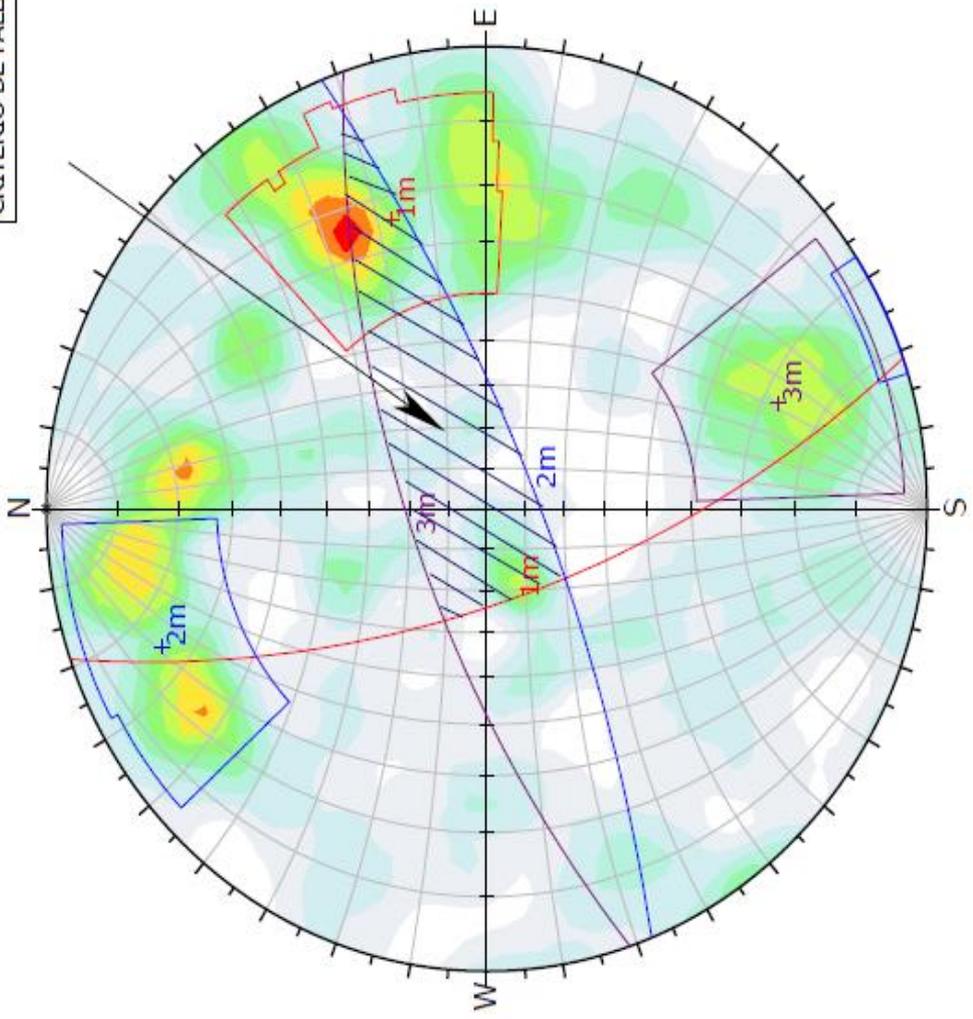
N°	Dip	Ddir	Litologia	Espac cm	Persist m	Rug < esc	Rug > esc	Tipo Relleno	Resist. Relleno	Apertura Relleno (mm)	Alteración	T/C	Humedad	Observaciones	Set
1	40	63	DIORITA	10	2	4	Esc/Pulido	SI	R4	1	Ligeramente	Di	Humedo		
2	52	74	DIORITA	20	0.44	4	Esc/Pulido	SI	R4	2	Ligeramente	Di	Humedo		
3	80	142	DIORITA	20	0.6	6	Ond/Pulido	SI	R3	1	Ligeramente	Di	Humedo		2
4	48	253	DIORITA	14	3	2	Ond/Liso	Pz	S2	1	Ligeramente	Di	Humedo		1
5	65	168	DIORITA	10	2	2	Ond/Pulido	SI	R3	1	Ligeramente	Di	Humedo		4
6	52	250	DIORITA	40	1.1	2	Esc/Pulido	Arc	S2	1	Ligeramente	Di	Humedo		1
7	75	330	DIORITA	52	0.6	2	Ond/Rugoso	Arc	S1	1	Ligeramente	Di	Humedo		
8	47	154	DIORITA	34	3	5	Ond/Rugoso	SI	R3	1	Moderadamente	Di	Seco		4
9	63	316	DIORITA	60	1.5	4	Esc/Pulido	Arc	S2	1	Moderadamente	Di	Seco		
10	82	335	DIORITA	36	0.42	6	Ond/Rugoso	Arc	S2	2	Ligeramente	Di	Seco		
11	49	157	DIORITA	15	1.1	4	Ond/Pulido	Arc	S2	1	Moderadamente	Di	Seco		4
12	48	164	DIORITA	15	0.25	6	Ond/Rugoso	Arc	S2	1	Ligeramente	Di	Seco		4
13	64	310	DIORITA	26	1.8	4	Ond/Liso	SI	R3	1	Ligeramente	Di	Seco		
14	77	180	DIORITA	32	1.5	3	Ond/Liso	Arc	S2	1	Ligeramente	Di	Seco		4
15	69	145	DIORITA	55	0.6	3	Esc/Liso	Arc	S2	1	Ligeramente	Di	Humedo		2
16	64	239	DIORITA	55	0.6	3	Esc/Liso	Arc	S2	1	Moderadamente	Di	Seco		1
17	57	129	DIORITA	9	0.7	5	Ond/Rugoso	SI	R3	1	Ligeramente	Di	Seco		
18	59	255	DIORITA	37	0.92	3	Ond/Liso	SI	R3	1	Ligeramente	Di	Seco		1
19	70	170	DIORITA	30	1.2	3	Esc/Pulido	SI	R3	1	Ligeramente	Di	Seco		4
20	33	256	DIORITA	10	3	3	Ond/Liso	Arc	S2	1	Ligeramente	Di	Humedo		
21	57	119	DIORITA	45	0.5	4	Ond/Rugoso	Arc	S1	1	Ligeramente	Di	Seco		
22	60	159	DIORITA	70	1.1	4	Esc/Liso	Arc	S2	1	Ligeramente	Di	Seco		4
23	69	234	DIORITA	30	1.3	4	Esc/Liso	Arc	S1	1	Ligeramente	Di	Seco		1
24	75	146	DIORITA	10	0.65	5	Ond/Rugoso	Arc	S2	1	Ligeramente	Di	Seco		2
25	52	246	DIORITA	90	1.0	2	Esc/Pulido	Arc	S2	1	Ligeramente	Di	Seco		1
26	57	233	DIORITA	12	1.8	3	Esc/Liso	SI	R3	1	Ligeramente	Di	Seco		1
27	89	220	DIORITA	83	1.6	2	Ond/Liso	SI	R3	1	Ligeramente	Di	Seco		
28	80	232	DIORITA	80	0.8	3	Ond/Liso	SI	R3	1	Moderadamente	Di	Seco		
29	54	254	DIORITA	16	1.0	3	Esc/Liso	SI	R3	100	Moderadamente	Fa	Seco	Falla	1
30	71	161	DIORITA	16	1.4	3	Esc/Liso	Arc	S2	30	Moderadamente	Fa	Seco	Falla	4
31	75	254	DIORITA	20	1.1	2	Esc/Liso	Arc	S2	150	Ligeramente	Fa	Seco	Falla	
32	64	193	DIORITA	10	0.6	2	Plan/Rugoso	Arc	S2	2	Ligeramente	Di	Seco		1
33	64	223	DIORITA	10	0.6	2	Plan/Rugoso	Arc	S2	1	Ligeramente	Di	Seco		
34	76	220	DIORITA	15	0.85	2	Esc/Pulido	SI	R3	1	Ligeramente	Di	Seco		
35	79	187	DIORITA	15	0.9	3	Esc/Liso	Arc	S2	1	Ligeramente	Di	Seco		
36	61	187	DIORITA	30	1.2	3	Esc/Liso	SI	R3	1	Ligeramente	Di	Seco		
37	61	265	DIORITA	90	0.5	3	Esc/Liso	SI	R3	1	Moderadamente	Di	Seco		1
38	32	253	DIORITA	10	1	3	Esc/Liso	Arc	S2	1	Moderadamente	Di	Seco		
39	87	69	DIORITA	25	1.2	4	Esc/Pulido	SI	R3	1	Moderadamente	Di	Humedo		
40	59	252	DIORITA	10	1.0	2	Ond/Liso	SI	R3	1	Moderadamente	Di	Seco		1
41	86	138	DIORITA	35	1.4	3	Esc/Liso	Arc	S2	1	Moderadamente	Di	Seco		2
42	58	242	DIORITA	37	1.2	3	Esc/Liso	Arc	S2	1	Ligeramente	Di	Seco		1
43	58	40	DIORITA	23	0.9	2	Esc/Pulido	Arc	S2	1	Moderadamente	Di	Seco		3
44	64	242	DIORITA	19	1.5	2	Esc/Pulido	Arc	S2	1	Moderadamente	Di	Seco		1
45	29	55	DIORITA	35	0.4	3	Esc/Pulido	Arc	S2	1	Ligeramente	Di	Seco		
46	79	172	DIORITA	50	1.1	3	Esc/Liso	Arc	S2	1	Ligeramente	Di	Seco		4
47	42	61	DIORITA	30	0.5	3	Esc/Liso	Arc	S2	1	Moderadamente	Di	Seco		
48	54	46	DIORITA	15	0.5	2	Esc/Liso	Arc	S2	1	Moderadamente	Di	Seco		3
49	58	49	DIORITA	12	5	2	Esc/Liso	Arc	S2	1	Moderadamente	Di	Seco		3
50	55	181	DIORITA	10	3.5	3	Esc/Liso	Arc	S2	1	Moderadamente	Fa	Seco	Falla	4

**Martillo Schmidt (realizar 20 mediciones)**  
 indice de rebote (mat 1) Orientacion del equipo: 4.3 / 4.4 / 4.0 / 4.0 / 4.5 / 4.0 / 4.3 / 4.1 / 4.0 / 4.1 / 3.4 / 3.5 / 3.7 / 3.2 / 3.8 / 2.7 / 4.3 / 3.6 / 3.8 / 4.2  
 indice de rebote (mat 2)

DESCRIPCION DEL MACIZO ROCOSO										Norte: 9,110,172.731				
Estacion Geotecnica: EG-05										Este: 230,755.290				
Fecha: 05/04/18 Labor										Cota: 2,371.445				
Resistencia: 28.Mpa										2370				
XC 9986-S										Nivel:				
C Lab: 28969										Zona: VALERIA IV				
cto voladura: 0.4										Apertura Relleno (mm)				
N°	Dip	Ddir	Litologia	Espac cm	Persist m	Rug < esc	Rug > esc	Tipo Relleno	Resist. Relleno	Alteración	T/C	Humedad	Observaciones	Set
1	53	257	DIORITA	100	3	1	Plan/Rugoso	Arc	S2	No meteorizada	DIACLASA	Seco		
2	89	105	DIORITA	20	1.5	1	Plan/Rugoso	Arc	S2	No meteorizada	DIACLASA	Seco		
3	53	42	DIORITA	30	2	3	Ond/Rugoso	Arc	S2	No meteorizada	DIACLASA	Seco		
4	39	50	DIORITA	60	0.9	2	Plan/Rugoso	Arc	S2	No meteorizada	DIACLASA	Seco		
5	62	250	DIORITA	60	0.9	2	Esc/Pulido	Arc	S2	No meteorizada	DIACLASA	Humedo		4
6	51	268	DIORITA	70	0.6	3	Plan/Liso	Si	R4	Ligera mente	DIACLASA	Humedo		
7	45	293	DIORITA	55	0.6	3	Ond/Rugoso	Si	R4	Moderadamente	DIACLASA	Humedo		
8	57	30	DIORITA	55	0.6	3	Ond/Pulido	Arc	S2	Ligera mente	DIACLASA	Humedo		5
9	61	128	DIORITA	40	0.7	3	Ond/Pulido	Si	R4	Moderadamente	DIACLASA	Humedo		
10	76	324	DIORITA	53	0.7	3	Ond/Pulido	Si	R4	Ligera mente	DIACLASA	Humedo		
11	89	128	DIORITA	55	0.7	3	Ond/Pulido	Si	R4	Ligera mente	CONTACTO	Humedo		
12	58	239	DIORITA	65	1.1	3	Ond/Pulido	Si	R4	Ligera mente	DIACLASA	Humedo		4
13	79	160	DIORITA	30	0.35	3	Plan/Liso	Arc	S2	Moderadamente	FALLA	Humedo		2
14	32	82	DIORITA	30	0.4	2	Plan/Liso	Si	R4	Ligera mente	DIACLASA	Humedo		
15	36	79	DIORITA	25	0.2	2	Plan/Liso	Si	R4	Moderadamente	DIACLASA	Humedo		
16	87	132	DIORITA	53	1.6	3	Ond/Pulido	Pz	S3	Moderadamente	DIACLASA	Humedo		
17	32	104	DIORITA	65	2.4	6	Plan/Liso	Arc	S2	Ligera mente	DIACLASA	Humedo		
18	26	355	DIORITA	36	2.8	2	Ond/Liso	Pz	S3	Ligera mente	DIACLASA	Humedo		
19	57	230	DIORITA	60	0.9	4	Ond/Liso	Arc	S2	Ligera mente	DIACLASA	Humedo		4
20	83	223	DIORITA	22	0.2	4	Ond/Rugoso	Arc	S2	Ligera mente	DIACLASA	Humedo		
21	56	292	DIORITA	30	0.34	5	Esc/Pulido	Arc	S2	Moderadamente	DIACLASA	Humedo		
22	87	245	DIORITA	14	1.76	2	Esc/Pulido	Arc	S2	Ligera mente	DIACLASA	Humedo		1
23	76	238	DIORITA	12	1.1	2	Plan/Rugoso	Arc	S2	Ligera mente	DIACLASA	Humedo		
24	64	235	DIORITA	7	0.6	2	Plan/Liso	Arc	S2	Ligera mente	DIACLASA	Humedo		4
25	22	82	DIORITA	20	0.8	3	Plan/Liso	Arc	S2	Ligera mente	DIACLASA	Humedo		
26	82	160	DIORITA	45	1.06	2	Plan/Liso	Arc	S2	Moderadamente	DIACLASA	Humedo		2
27	84	252	DIORITA	26	1.3	4	Ond/Liso	Arc	S2	Ligera mente	DIACLASA	Humedo		1
28	72	314	DIORITA	12	0.6	3	Ond/Rugoso	Arc	S2	Ligera mente	DIACLASA	Humedo		6
29	84	250	DIORITA	30	1.1	3	Esc/Pulido	Arc	S2	No meteorizada	DIACLASA	Humedo		1
30	79	159	DIORITA	33	0.56	3	Esc/Pulido	Arc	S2	No meteorizada	DIACLASA	Humedo		2
31	81	255	DIORITA	15	0.6	4	Ond/Rugoso	Si	R4	No meteorizada	DIACLASA	Humedo		1
32	87	170	DIORITA	23	1	7	Ond/Rugoso	Pz	S3	Ligera mente	FALLA	Humedo		
33	83	258	DIORITA	23	0.5	4	Ond/Rugoso	Pz	S3	Ligera mente	DIACLASA	Humedo		1
34	74	211	DIORITA	30	1.3	2	Esc/Pulido	Arc	S2	Moderadamente	DIACLASA	Humedo		
35	85	294	DIORITA	24	0.76	2	Plan/Liso	Arc	S2	No meteorizada	DIACLASA	Humedo		3
36	54	340	DIORITA	30	0.9	3	Ond/Rugoso	Arc	S2	No meteorizada	DIACLASA	Humedo		
37	73	314	DIORITA	17	0.55	4	Esc/Pulido	Arc	S2	Moderadamente	DIACLASA	Humedo		6
38	59	137	DIORITA	33	1.5	7	Plan/Liso	Si	R4	Moderadamente	DIACLASA	Humedo		
39	64	19	DIORITA	8	0.9	2	Ond/Liso	Arc	S2	Moderadamente	DIACLASA	Humedo		5
40	64	14	DIORITA	35	1.8	2	Plan/Rugoso	Arc	S2	Moderadamente	DIACLASA	Humedo		
41	64	12	DIORITA	20	1.2	2	Plan/Rugoso	Si	R4	Ligera mente	DIACLASA	Humedo		5
42	82	290	DIORITA	20	3	2	Plan/Rugoso	Arc	S2	Ligera mente	DIACLASA	Humedo		3
43	89	295	DIORITA	45	1.5	4	Esc/Pulido	Si	R4	No meteorizada	DIACLASA	Humedo		3
44	85	293	DIORITA	25	1.5	4	Ond/Liso	Si	R4	No meteorizada	DIACLASA	Humedo		3
45	58	245	DIORITA	30	1.3	4	Ond/Liso	Si	R4	No meteorizada	DIACLASA	Humedo		4
46	59	240	DIORITA	40	4	2	Plan/Rugoso	Arc	S2	No meteorizada	DIACLASA	Humedo		4
47	58	30	DIORITA	40	4.5	2	Ond/Liso	Pz	S3	No meteorizada	DIACLASA	Humedo		5
48	70	254	DIORITA	40	4	3	Plan/Rugoso	Arc	S2	Ligera mente	DIACLASA	Humedo		
49	83	246	DIORITA	65	4	2	Plan/Rugoso	Arc	S3	Ligera mente	DIACLASA	Humedo		1
50	63	226	DIORITA	50	4	3	Plan/Rugoso	Arc	S4	Ligera mente	DIACLASA	Humedo		4

Martillo Schmidt (realizar 20 mediciones)  
Indice de rebote (mat 1) 4.0 / 3.8 / 4.2 / 4.0 / 4.2 / 4.0 / 3.8 / 4.8 / 3.6 / 4.8 / 3.4 / 3.6 / 4.0 / 3.9 / 4.5 / 4.4 / 4.5 / 4.1 / 3.9  
Indice de rebote (mat 2)

**CRITERIO DE FALLA**

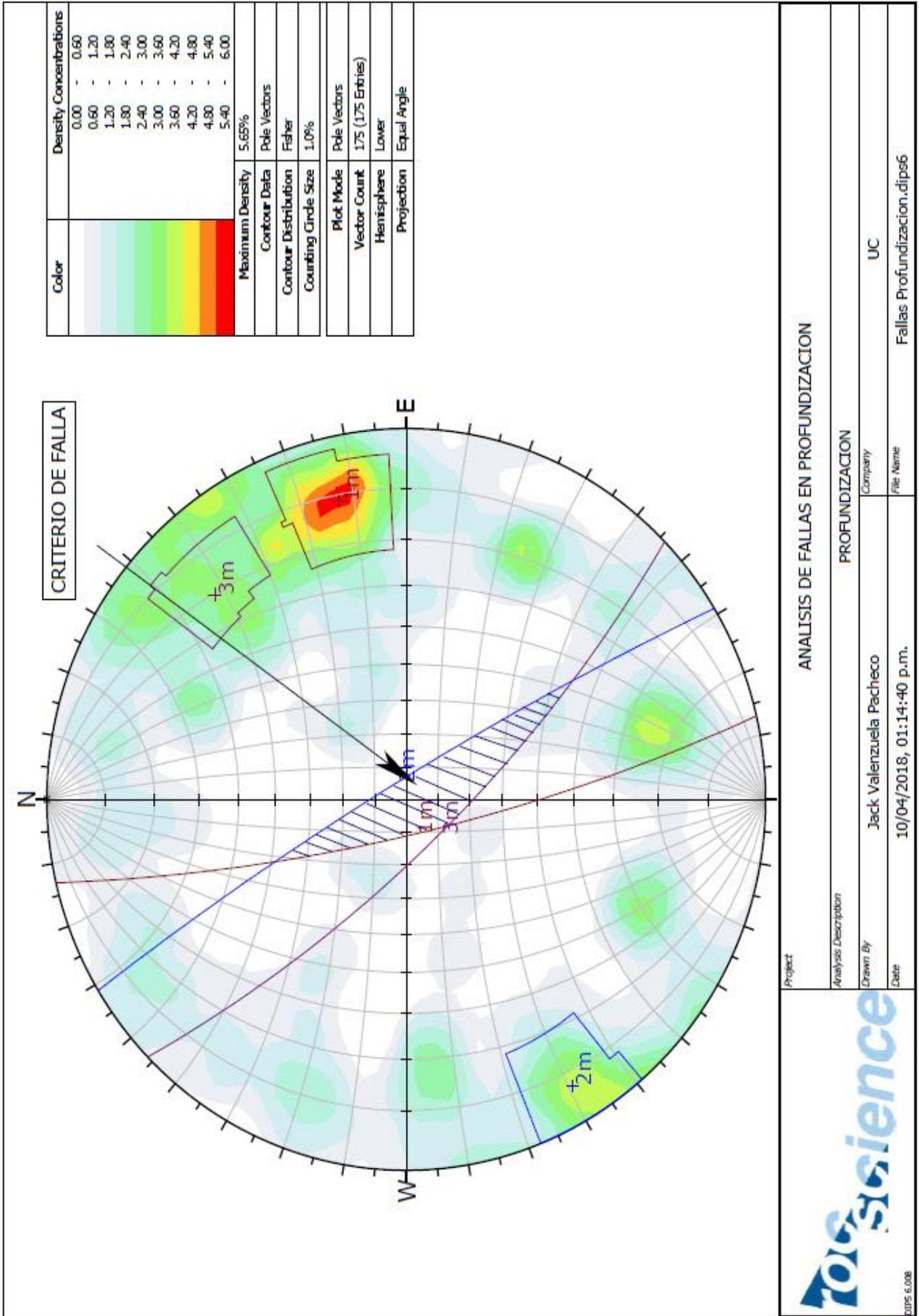


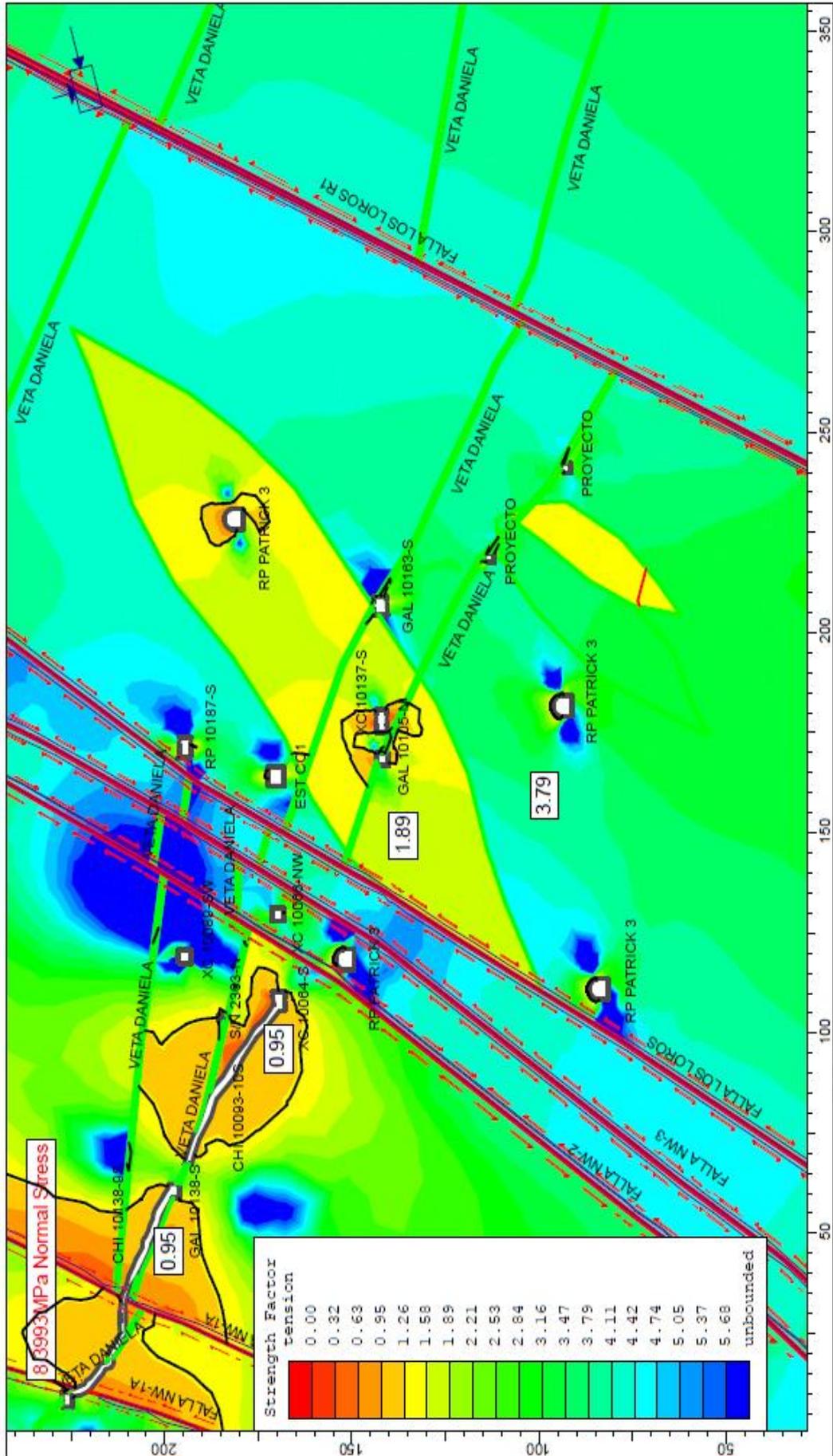
Color	Density Concentrations
	0.00 - 0.40
	0.40 - 0.80
	0.80 - 1.20
	1.20 - 1.60
	1.60 - 2.00
	2.00 - 2.40
	2.40 - 2.80
	2.80 - 3.20
	3.20 - 3.60
	3.60 - 4.00

Maximum Density	3.91%
Contour Data	Pole Vectors
Contour Distribution	Fisher
Counting Circle Size	1.0%
Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	430 (430 Entries)
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Angle

Project	ANALISIS DE DISCONTINUIDADES EN PROFUNDIZACION	
Analysis Description	PROFUNDIZACION	
Drawn By	Jack Valenzuela Pacheco	Company UC
Date	20/04/2018, 06:14:40 p.m.	File Name Discontinuidades Profundizacion.djps6

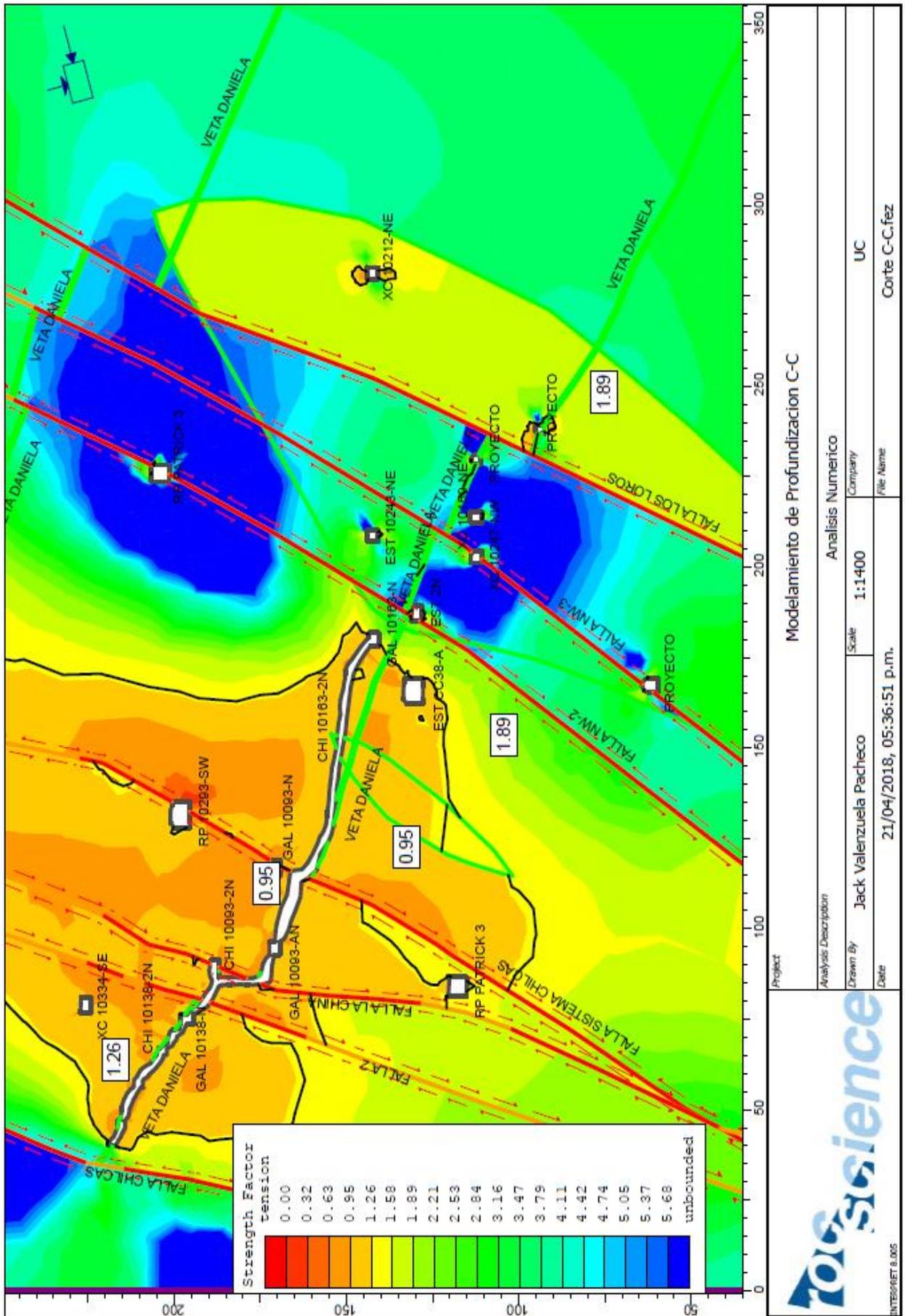


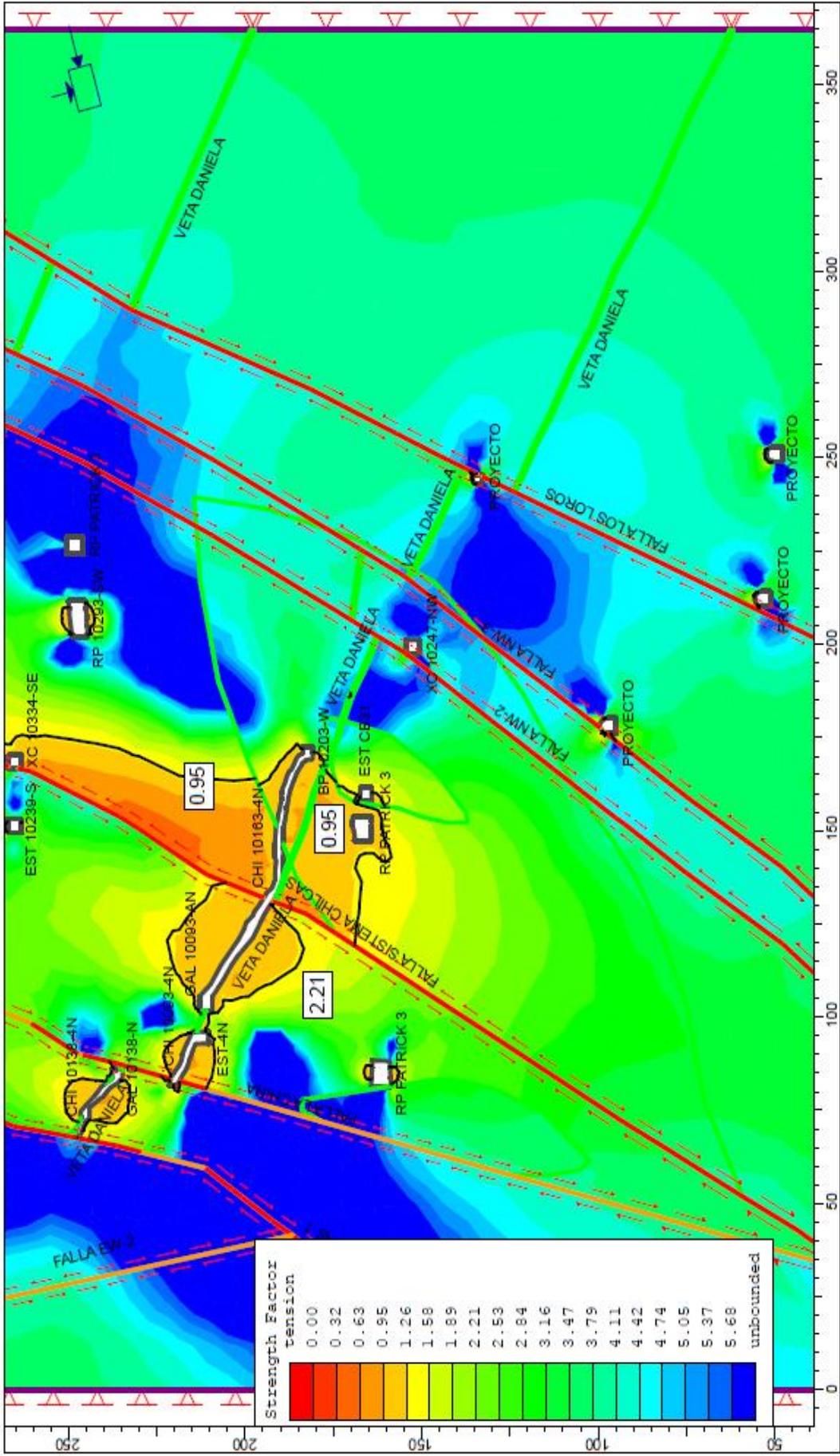


<b>Modelamiento de Profundización Corte A-A</b>	
Analysis Description	Analysis Numerico
Drawn By	Scale
Date	Company
18/04/2018, 06:13:25 p.m.	1:1400
Jack Valenzuela Pacheco	UC
File Name	Corte A-A.fe2



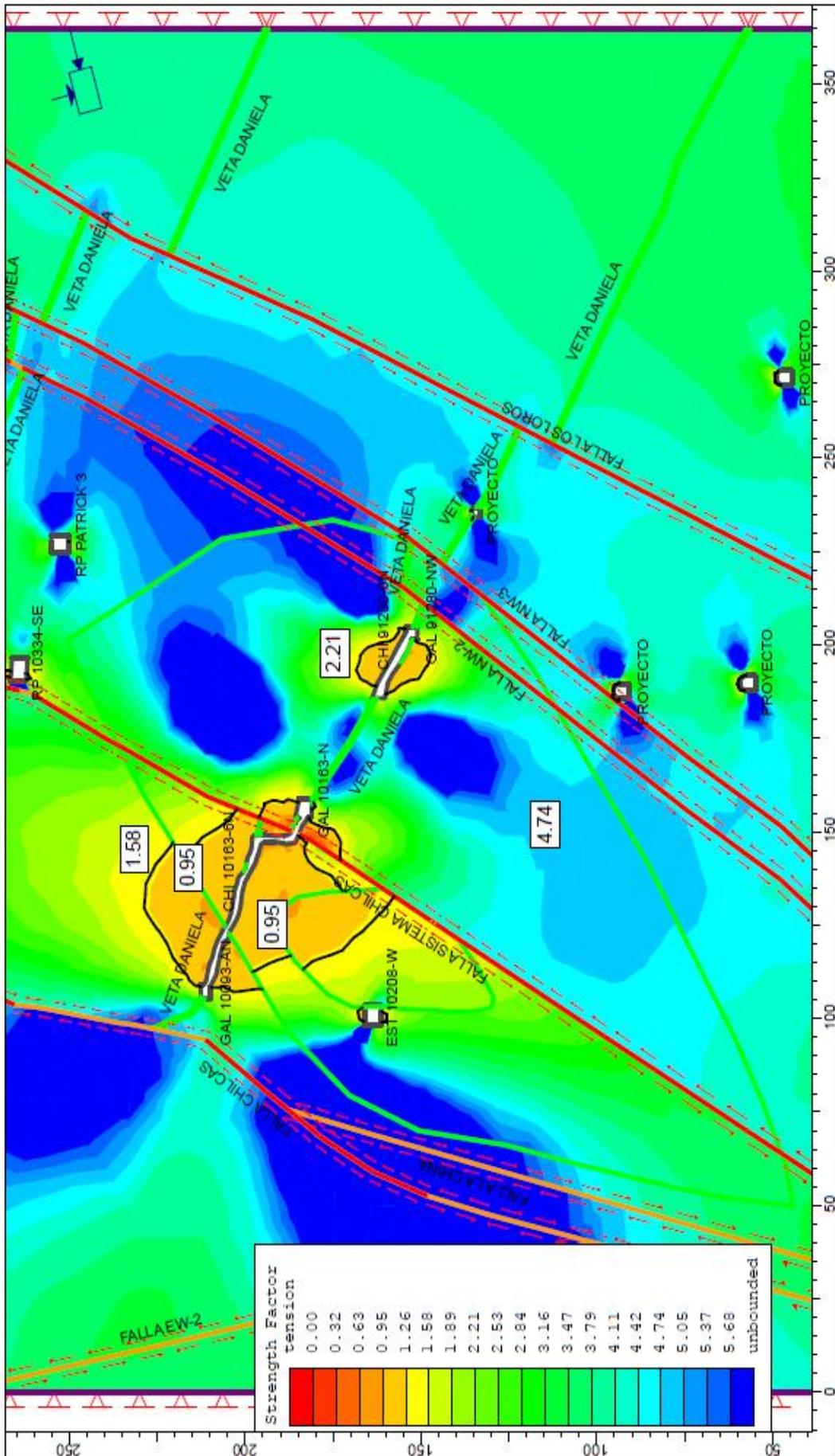






Project		Modelamiento de Profundidad Corte D-D	
Analysis Description		Analysis Numerico	
Drawn By	Jack Valenzuela Pacheco	Scale	1:1500
Date	11/04/2018, 06:23:12 p.m.	Company	UC
		File Name	Corte D-D.fez





Project		Modelamiento de Profundidad Corte E-E	
Analysis Description		Analysis Numerico	
Drawn By	Jack Valenzuela Pacheco	Scale	1:1500
Date	12/04/2018, 06:23:09 p.m.	Company	UC
		File Name	Corte E-E.fe3



