



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra

**“CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA Y PROPUESTA DE TÉCNICAS DE
SOSTENIMIENTO PARA LAS PRINCIPALES GALERÍAS DE
EXPLOTACIÓN DE LA MINA LIGA DE ORO”.**

PROYECTO DE GRADO

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERO DE MINAS

Presentado por:

JHON OMAR GUALACATA TÚQUERRES

GUAYAQUIL-ECUADOR

2018

DEDICATORIA

A mi madre María Elena Túquerres que me inspiró en cada momento del transcurso de la carrera a ser perseverante pese a los problemas y dificultades que se presentaban.

Agradezco a mis profesores y amigos de la carrera de los cuales me llevo muchas enseñanzas y momentos compartidos en conjunto que me permitieron crecer como persona y profesional.

Jhon Omar Gualacata Túquerres

AGRADECIMIENTO

A la empresa Sociedad Minera Liga de Oro (SOMILOR S.A), a sus representantes Ing. Xavier Mendieta e Ing. Marcelo Apolo por la apertura brindada para el desarrollo de este proyecto de graduación, a los ingenieros Richard Reza y Enrique Velasco por la tutoría técnica y apoyo desinteresado para la realización del proyecto.

A la MSc. Samantha Jiménez y Dra. Silvia Loaiza, por su orientación y atención brindada, retroalimentando con ideas y sugerencias que permitieron que culmine con éxito el proyecto.

Jhon Omar Gualacata Túquerres

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

**Samantha Tamara Jiménez Oyola, MSc.
DIRECTOR DE MATERIA INTEGRADORA**

**Eduardo Luis Recalde Chiliza, PhD.
MIEMBRO EVALUADOR**

**Silvia Loaiza Amboludi, PhD.
MIEMBRO EVALUADOR**

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, nos corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma, a la Escuela Superior Politécnica del Litoral”

(Reglamento de Exámenes y Títulos Profesionales de la
ESPOL)

Jhon Omar Gualacata Túquerres

RESUMEN

El documento tiene como objetivo presentar la caracterización y evaluación geomecánica del macizo rocoso de diez galerías de avance o galerías de nivel de la mina Liga de Oro, ubicada en el cantón Camilo Ponce Enríquez, sector La López. Las galerías objeto de estudio están ubicadas en diferentes sectores de trabajo de la mina como: Bocamina, Vetilla 1, Nivel C y Frente 11. Realizando un mapeo geomecánico a detalle en cada galería, se pudo obtener información base acerca de las características geológicas del sector, familias de juntas y propiedades físicas del macizo rocoso. El levantamiento y toma de datos en campo se realizó para una longitud de 40 metros en cada galería, abarcando alrededor de 350 metros de mapeo geomecánico en total. El procesamiento de información para la estimación de la calidad del macizo rocoso se realizó mediante la clasificación geomecánica RMR de Bieniawski, 1989. El modelamiento de las cuñas inestables que condicionan la estabilidad de cada galería se realizó mediante software geotécnicos DIPS v.3, Rock Data v.3 y Unwedge v.3, presentando de forma gráfica las zonas inestables de la geometría de cada galería, para los cuales se recomienda medidas de sostenimiento que garanticen la estabilidad de las excavaciones estudiadas.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	II
AGRADECIMIENTO	III
TRIBUNAL DE GRADUACIÓN	IV
RESUMEN	VI
ÍNDICE GENERAL	VII
ABREVIATURAS	XI
SIMBOLOGÍA.....	XII
INDICE DE FIGURAS.....	XIII
ÍNDICE DE TABLAS	XIX
CAPITULO 1.....	30
INTRODUCCIÓN	30
1.1. Antecedentes.....	31
1.2. Planteamiento del Problema.....	32
1.2.1. Definición del Problema	32
1.2.2. Justificación.....	32
1.2.3. Alcance	34

1.3. Objetivos.....	34
1.3.1. Objetivo General	34
1.3.2. Objetivos Específicos.....	34
1.4. Diagnóstico actual de la mina.....	35
1.4.1. Ubicación del Área de Estudio	35
1.4.2. Marco Geológico	36
1.4.3. Método de Explotación.....	40
CAPITULO 2.....	45
METODOLOGÍA Y MARCO TEÒRICO.....	45
2.1. Metodología	46
2.2. Marco Teórico.....	49
2.2.1. Parámetros Geomecánicos.....	49
2.2.2. Clasificaciones Geomecánicas	49
2.2.3. Criterios de Rotura.....	63
CAPITULO 3.....	66
RESULTADOS	66
3.1 Valoración geomecánica RMR Bieniawski, 1989 de las galerías de explotación	67
3.1.1 Sector Bocamina.....	67

3.1.2	Galerías Sector Vetilla 1-Subnivel 3.....	105
3.1.3	Sector Nivel C	121
3.1.4	Sector Veta B	131
3.1.5	Sector Frente 11- Subnivel 2.....	140
CAPITULO 4.....		156
ANÁLISIS DE RESULTADOS.....		156
4.1.	Modelización de cuñas, optimización de azimut de galerías de explotación.	157
4.1.1.	Sector Bocamina	158
4.1.2.	Sector Nivel C	172
4.1.3.	Sector Vetilla 1-Subnivel 3	176
4.1.4.	Sector Galería Veta B	183
4.1.5.	Sector Frente 11.....	187
4.2.	Medidas de sostenimiento para galerías con cuñas inestables. ...	194
4.2.1.	Galería Norte Subnivel 3-Vetilla 1	196
4.2.2.	Galería Norte Veta B	198
4.2.3.	Galería Sur-Frente 11	200
4.2.4.	Galería Norte Subnivel 2-Bocamina	202
4.2.5.	Galería Sur Subnivel 2-Bocamina	204

CAPITULO 5.....	207
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	207
CONCLUSIONES.....	208
RECOMENDACIONES.....	210

ANEXOS

BIBLIOGRAFÍA

ABREVIATURAS

Az	Azimut
Buz	Buzamiento
Gal	Galería
Sub	Subnivel
RMR	Rock Mass Rating
RQD	Rock Quality Designation
FS.	Factor de Seguridad
RCS	Resistencia Compresión Simple
GSI	Geological Strength Index
Fm	Formación
J	Junta

SIMBOLOGÍA

°	Grados
MPa	Mega-Pascales
ton	toneladas
ton/m ³	toneladas/metro cubico
Kg/cm ²	Kilogramos/centímetro cuadrado
τ	Tensión tangencial
σ	Tensión Normal
C	cohesión
ϕ	Angulo de fricción interna
D	Factor de Disturbancia

INDICE DE FIGURAS

Figura. 1.1 Ubicación Geográfica de la mina objeto de estudio.	36
Figura. 1.2 Cartografía Geológica Liga de Oro	39
Figura. 1.3 Esquema base de explotación Corte y Relleno empleado en la mina Liga de Oro.	41
Figura. 1.4 Dimensión Estándar de una Galería de Explotación.....	42
Figura. 1.5 Distribución de carga explosiva para el cuele	43
Figura. 1.6 Distribución de carga explosiva para barrenos de ayuda.....	43
Figura. 1.7 Esquema inicial de perforación para una galería de nivel.....	44
Figura. 1.8 Malla de Perforación completa para una galería de nivel.	44
Figura. 2.1 Esquema de metodología de trabajo.	48
Figura. 2.2 Estimación de la Resistencia a la Comprensión Simple en Terreno.	53
Figura. 2.3 Posición de la discontinuidad en el espacio.....	55
Figura. 2.4 Parámetros de Clasificación RMR y su valoración	61
Figura. 2.5 Relación entre Criterio Hoek-Brown y Mohr-Coulomb.	65
Figura. 3.1 Densidad de polos de las principales juntas determinadas en la galería Norte-Subnivel 1, sector Bocamina.....	68
Figura. 3.2 Orientación de las familias de juntas para la galería Norte-Subnivel 1, sector Bocamina.	69

Figura. 3.3 Planos de las principales familias de juntas de la Galería Sur-Subnivel 1, sector Bocamina.....	79
Figura. 3.4 Principales familias de juntas, Galería Norte-Subnivel 2, sector Bocamina.....	89
Figura. 3.5 Principales familias de juntas para Galería Sur-Subnivel 2, sector Bocamina.....	100
Figura. 3.6 Principales familias de juntas identificadas en la Galería Norte-Subnivel 3, sector Vetilla 1.....	107
Figura. 3.7 Principales familias de juntas identificadas en la Galería Sur Subnivel 3, sector Vetilla 1.....	116
Figura. 3.8 Principales familias de juntas, Galería Veta Cruzada, sector Nivel C.	123
Figura. 3.9 Familia de discontinuidades identificadas en la Galería Veta B.	132
Figura. 3.10 Principales familias de juntas identificadas en la galería norte, sector Frente 11.....	141
Figura. 3.11 Principales familias de juntas identificadas en la galería sur subnivel 2, sector Frente 11.....	149
Figura. 3.12 Puntuación y Calidad del Macizo Rocosó según RMR para las galerías de explotación de la mina Liga de Oro.	155

Figura. 4.1 Visualización tridimensional de las cuñas formadas en la Galería Norte Subnivel 1-Bocamina utilizando el software Unwedge, las dimensiones de la labor son de 2.1 m (ancho) x 2.4 m (alto).	160
Figura. 4.2 Diagrama de contornos del comportamiento del factor de seguridad de las cuñas para la Galería Norte-Sub 1-Bocamina, variando direcciones de rumbo.....	161
Figura. 4.3 Visualización tridimensional de las cuñas formadas en la Galería Sur Subnivel 1-Bocamina utilizando el software Unwedge, las dimensiones de la labor son de 1.9 m (ancho) x 2.3 m (alto).	163
Figura. 4.4 Diagrama de contornos del comportamiento del factor de seguridad de las cuñas para la Galería Sur-Subnivel 1-Bocamina, variando direcciones de rumbo.....	164
Figura. 4.5 Visualización tridimensional de las cuñas formadas en la Galería Sur Subnivel 2-Bocamina utilizando el software Unwedge, las dimensiones de la labor son de 2.1 m (ancho) x 2.5 m (alto).	167
Figura. 4.6 Diagrama de contornos del comportamiento del factor de seguridad de las cuñas para la Galería Sur-Subnivel 2-Bocamina, variando direcciones de rumbo.....	168
Figura. 4.7 Visualización tridimensional de las cuñas formadas en la Galería Norte Subnivel 2-Bocamina utilizando el software Unwedge, las dimensiones de la labor son de 1.9 m (ancho) x 2.3 m (alto).	170

Figura. 4.8 Diagrama de contornos del comportamiento del factor de seguridad de las cuñas para la Galería Sur-Subnivel 2-Bocamina, variando direcciones de rumbo.....	171
Figura. 4.9 Visualización tridimensional de las cuñas formadas en la Galería Nivel C utilizando el software Unwedge, las dimensiones de la labor son de 2.2 m (ancho) x 2.4 m (alto).....	174
Figura. 4.10 Diagrama de contornos del comportamiento del factor de seguridad de las cuñas para la Galería Nivel C-Veta Cruzada, variando direcciones de rumbo.....	175
Figura. 4.11 Visualización tridimensional de las cuñas formadas en la Galería Norte-Vetilla 1 utilizando el software Unwedge, las dimensiones de la labor son de 2 m (ancho) x 2.8 m (alto).....	178
Figura. 4.12 Diagrama de contornos del comportamiento del factor de seguridad de las cuñas para la Galería Norte Vetilla1-Sub 3, variando direcciones de rumbo.....	179
Figura. 4.13 Visualización tridimensional de las cuñas formadas en la Galería Norte-Vetilla 1 utilizando el software Unwedge, las dimensiones de la labor son de 2.2 m (ancho) x 2.3 m (alto).....	181
Figura. 4.14 Diagrama de contornos del comportamiento del factor de seguridad de las cuñas para la Galería Sur Vetilla1-Subnivel 3, variando direcciones de rumbo.....	182

Figura. 4.15 Visualización tridimensional de las cuñas formadas en la Galería Veta B utilizando el software Unwedge, las dimensiones de la labor son de 2 m (ancho) x 2.2 m (alto).....	184
Figura. 4.16 Diagrama de contornos del comportamiento del factor de seguridad de las cuñas para la Galería Veta B, variando direcciones de rumbo.	186
Figura. 4.17 Visualización tridimensional de las cuñas formadas en la Galería Norte-Frente 11 utilizando el software Unwedge, las dimensiones de la labor son de 2.1 m (ancho) x 2.2 m (alto).	189
Figura. 4.18 Diagrama de contornos del comportamiento del factor de seguridad de las cuñas para la Galería Norte Frente 11, variando direcciones de rumbo.....	190
Figura. 4.19 Visualización tridimensional de las cuñas formadas en la Galería Sur-Frente 11 utilizando el software Unwedge, las dimensiones de la labor son de 2 m (ancho) x 2.1 m (alto).....	192
Figura. 4.20 Diagrama de contornos del comportamiento del factor de seguridad de las cuñas para la Galería Sur Frente 11, variando direcciones de rumbo.....	193
Figura. 4.21 Esquema de los accesorios de un perno de anclaje de rosca continúa.	195
Figura. 4.22 Vista Isométrica de la acción de los pernos de anclaje sobre la cuña del hastial de la Galería Norte-Vetilla 1.....	197

Figura. 4.23 Diferentes planos de vista que presenta la actuación de los pernos de anclaje sobre la Galería Norte-Vetilla 1.....	198
Figura. 4.24 Diferentes planos de vista que presenta la actuación de los pernos de anclaje sobre la Galería Norte-Veta B.....	199
Figura. 4.25 Diferentes planos de vista que presenta la actuación de los pernos de anclaje sobre la Galería Norte-Veta B.....	200
Figura. 4.26 Diferentes planos de vista que presenta la actuación de los pernos de anclaje sobre la Galería Sur-Frente 11.....	201
Figura. 4.27 Diferentes planos de vista que presenta la actuación de los pernos de anclaje sobre la Galería Sur-Frente 11.....	202
Figura. 4.28 Diferentes planos de vista que presenta la actuación de los pernos de anclaje sobre la Galería Sur-Sub1-Bocamina.....	203
Figura. 4.29 Diferentes planos de vista que presenta la actuación de los pernos de anclaje sobre la Galería Sur-Sub 1-Bocamina.....	204
Figura. 4.30 Diferentes planos de vista que presenta la actuación de los pernos de anclaje sobre la Galería Sur-Sub 1-Bocamina.....	205
Figura. 4.31 Diferentes planos de vista que presenta la actuación de los pernos de anclaje sobre la Galería Sur-Sub1-Bocamina.....	206

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla I Relación de parámetros de las clasificaciones	50
Tabla II Valoración RQD y calidad de la roca.	54
Tabla III Consideraciones para describir el espaciado entre discontinuidades.	56
Tabla IV Consideraciones para describir la persistencia de una discontinuidad.	56
Tabla V Consideraciones para valorar la alteración de las paredes de una discontinuidad.	57
Tabla VI Consideraciones para describir la abertura de una discontinuidad.	58
Tabla VII Condición del agua en las discontinuidades.	59
Tabla VIII Corrección de Orientación por Juntas	60
Tabla IX Sostenimientos y longitud de pase según criterios de evaluación geo mecánica RMR (Bieniawski 1989).	62
Tabla X Estructuras geológicas identificadas en la Galería Norte-Subnivel 1, sector Bocamina.	69
Tabla XI Valoración RMR Básico Familia J1:224/48, (Galería Norte-Subnivel 1, sector Bocamina).	71
Tabla XII Corrección por Orientación de juntas, Familia J1 (Galería Norte Subnivel 1, sector Bocamina).	72

Tabla XIII Valoración RMR Básico familia J2:036/49 (Galería Norte-Subnivel 1, sector Bocamina).	74
Tabla XIV Corrección por Orientación de juntas, Familia J2:036/49 (Galería Norte-Subnivel 1, sector Bocamina).	74
Tabla XV Valoración RMR Básico familia J3:263/71 (Galería Norte-Subnivel 1, sector Bocamina).	76
Tabla XVI Corrección por Orientación de discontinuidades familia J3:263/71, (Galería Norte-Subnivel 1, sector Bocamina).	77
Tabla XVII RMR final de las familias de juntas pertenecientes a la Galería Norte Subnivel 1, sector Bocamina.	78
Tabla XVIII Principales estructuras geológicas identificadas en la Galería Sur-Subnivel 1, sector Bocamina.	79
Tabla XIX Valoración RMR Básico familia J1: 034/34 Galería Sur-Subnivel1, sector Bocamina.	82
Tabla XX Corrección por Orientación de juntas familia J1: 034/34 Galería Sur-Subnivel 1, sector Bocamina.	82
Tabla XXI Valoración RMR Básico familia J2: 210/39 Galería Sur-Subnivel1, sector Bocamina.	85
Tabla XXII Corrección por Orientación de juntas familia J2: 210/39 Galería Sur-Subnivel 1, sector Bocamina.	86
Tabla XXIII RMR final de las familias de juntas pertenecientes a la Galería Norte Subnivel 1, sector Bocamina.	87

Tabla XXIV Principales estructuras geológicas identificadas en la galería norte-subnivel 2, sector Bocamina.....	89
Tabla XXV Valoración RMR Básico familia J1:031/42, Galería Norte-Subnivel 2-Bocamina.....	91
Tabla XXVI Corrección por Orientación de juntas familia J1:031/42 para la Galería Norte-Subnivel2, sector Bocamina.....	92
Tabla XXVII Valoración RMR Básico familia J2:078/78 perteneciente a la Galería Norte-Subnivel 2, sector Bocamina.....	94
Tabla XXVIII Corrección por Orientación de juntas familia J2:078/78, Galería Norte-Subnivel 2, sector Bocamina.....	95
Tabla XXIX Valoración RMR Básico familia J3:112/78, Galería Norte-Subnivel 2-Bocamina.....	97
Tabla XXX Corrección por Orientación de juntas familia J3: 112/78, Galería Norte-Subnivel 2-Bocamina.....	98
Tabla XXXI RMR final de las familias de juntas pertenecientes a la Galería Norte Subnivel 2, sector Bocamina.....	99
Tabla XXXII Principales Familias de Juntas identificadas en la galería sur subnivel 2, sector Bocamina.....	100
Tabla XXXIII Valoración RMR Básico familia J1:209/45 para la galería sur-subnivel 2, sector Bocamina.....	102
Tabla XXXIV Corrección por Orientación de juntas familia J1:209/45, Galería Sur-Subnivel 2, sector Bocamina.....	103

Tabla XXXV RMR final de la familia de juntas perteneciente a la Galería Sur Subnivel 2, sector Bocamina.....	105
Tabla XXXVI Principales Familias de Juntas identificadas en la Galería Norte-Subnivel 3, sector Vetilla 1.....	107
Tabla XXXVII Valoración RMR Básico familia J1:210/44, perteneciente a la Galería Norte Subnivel 3, sector Vetilla 1.	109
Tabla XXXVIII Corrección por Orientación de juntas familia J1:068/37, perteneciente a la galería Norte-Subnivel 3, sector Vetilla 1.	110
Tabla XXXIX Valoración RMR Básico familia J2:332/54, Galería Norte-Subnivel 3, sector Vetilla 1.....	113
Tabla XL Corrección por Orientación de juntas familia J2:332/54, galería Norte, subnivel 3, sector Vetilla 1.....	113
Tabla XLI RMR final de la familia de juntas perteneciente a la galería norte subnivel 3, sector Vetilla 1.	114
Tabla XLII Principales Familias de Juntas identificadas en la Galería Sur-Subnivel 3, sector Vetilla 1.....	116
Tabla XLIII Valoración RMR Básico familia J1:077/50, Galería Sur-Subnivel 3, sector Vetilla 1.	118
Tabla XLIV Corrección por Orientación de juntas familia J1:077/50, Galería Sur-Subnivel 3, sector Vetilla 1.....	119
Tabla XLV RMR final de la familia de juntas perteneciente a la Galería Sur Subnivel 3, sector Vetilla 1.....	121

Tabla XLVI Principales estructuras geológicas identificadas en la galería Veta Cruzada, sector Nivel C.	123
Tabla XLVII Valoración RMR Básico familia J1:056/27, galería veta cruzada, sector Nivel C.....	125
Tabla XLVIII Corrección por Orientación de juntas familia J1:056/27, Galería Veta Cruzada, sector Nivel C.....	126
Tabla XLIX Valoración RMR Básico familia J2:325/76, galería veta cruzada, sector Nivel C.....	129
Tabla L Corrección por Orientación de juntas familia J1:325/76, galería Veta cruzada, sector Nivel C.....	130
Tabla LI RMR final de la familia de juntas perteneciente	130
Tabla LII Principales Familias de Juntas identificadas en la Galería Veta B.	132
Tabla LIII Valoración RMR Básico familia J1:071/44, Galería Veta B.	134
Tabla LIV Corrección por Orientación de juntas familia J1:071/44, galería Veta B.	135
Tabla LV Valoración RMR Básico familia J2:337/70, Galería Veta B.....	138
Tabla LVI Corrección por Orientación de juntas familia J2:337/70, Galería Veta B.....	139
Tabla LVII RMR final de la familia de juntas perteneciente a la Galería Veta B.	140

Tabla LVIII Principales estructuras geológicas identificadas, Galería Norte, sector Frente 11.....	142
Tabla LIX Valoración RMR Básico familia J1:360/67 Galería norte, sector Frente 11.	143
Tabla LX Corrección por Orientación de juntas familia J1:360/67, galería norte subnivel 2, sector Frente 11-Norte.....	144
Tabla LXI Valoración RMR Básico familia J2:089/43, Galería Norte subnivel 2, sector Frente 11.....	146
Tabla LXII Corrección por Orientación de juntas familia J1:089/43, galería Norte, sector Frente 11.....	147
Tabla LXIII RMR final para la familia de juntas perteneciente a la Galería Norte-Subnivel 2, sector Frente 11.	148
Tabla LXIV Principales estructuras geológicas identificadas, galería sur subnivel 2, sector Frente 11.....	150
Tabla LXV Valoración RMR Básico familia J1:085/44, Galería Sur-Subnivel 2, sector Frente 11.....	152
Tabla LXVI Corrección por Orientación de juntas familia J1:085/44, galería sur subnivel 2, sector Frente 11.....	152
Tabla LXVII RMR final para la familia de juntas perteneciente.....	154
Tabla LXVIII Resultados de evaluación geomecánica RMR de las cuatro galerías pertenecientes al sector Bocamina.	159

Tabla LXXIX Valores determinados mediante el software Rock Data para la Galería Norte Subnivel 1- Bocamina.....	159
Tabla LXX Especificaciones de las cuñas formadas por la intersección de discontinuidades de la galería norte subnivel 1, sector Bocamina; detalla factor de seguridad y peso de cada una.	160
Tabla LXXI Resultados de la variación del factor de seguridad para la Galería Norte-Subnivel 1-Bocamina	162
Tabla LXXII Valores determinados mediante el software Rock Data para la Galería Sur Subnivel 1- Bocamina.....	162
Tabla LXXIII Especificaciones de las cuñas formadas por la intersección de discontinuidades, detalla factor de seguridad y peso de cada una. Galería Sur-Subnivel 1- Bocamina.	163
Tabla LXXIV Resultados de la variación del factor de seguridad para la Galería Sur-Sub1-Bocamina	165
Tabla LXXVI Valores determinados mediante el software Rock Data para la Galería Sur Subnivel 2- Bocamina.....	166
Tabla LXXVI Especificaciones de las cuñas formadas por la intersección de discontinuidades para la galería sur-subnivel 2, bocamina; detalla factor de seguridad y peso de cada una.	166
Tabla LXXVII Resultados de la variación del factor de seguridad para la Galería Sur-Sub2-Bocamina	169

Tabla LXXVIII Valores determinados mediante el software Rock Data para la Galería Norte Subnivel 2- Bocamina.....	169
Tabla LXXIX Especificaciones de las cuñas formadas por la intersección de discontinuidades para la galería norte subnivel 2, bocamina; detalla factor de seguridad y peso de cada una.	170
Tabla LXXX Resultados de la variación del factor de seguridad para la galería sur-subnivel2, sector Bocamina	172
Tabla LXXXI Resultados de evaluación geomecánica RMR para la galería Nivel C-Veta Cruzada.	173
Tabla LXXXIII Valores determinados mediante el software Rock Data para la Galería Veta Cruzada, Nivel C.....	173
Tabla LXXXIII Especificaciones de las cuñas formadas por la intersección de discontinuidades para la galería veta cruzada, nivel c, detalla factor de seguridad y peso de cada una.	173
Tabla LXXXIV Resultados de la variación del factor de seguridad para la galería veta cruzada, sector Nivel C.	176
Tabla LXXXV Resultados de evaluación geomecánica RMR para las galerías del sector Vetilla 1-Subnivel 3.....	176
Tabla LXXXVII Valores determinados mediante el software Rock Data para la Galería Norte Subnivel 3- Vetilla 1.....	177

Tabla LXXXVII Especificaciones de las cuñas formadas por la intersección de discontinuidades para la Galería Norte Subnivel 3- Vetilla 1, detalla factor de seguridad y peso de cada una.	177
Tabla LXXXVIII Resultados de la variación del factor de seguridad para la Galería Norte-Vetilla 1-Sub 3.	180
Tabla LXXXIX Valores determinados mediante el software Rock Data para la Galería Norte Sub 3- Vetilla 1.	180
Tabla XC Especificaciones de las cuñas formadas por la intersección de discontinuidades para la galería sur-vetilla 1, detalla factor de seguridad y peso de cada una.	181
Tabla XCI Resultados de la variación del factor de seguridad para la Galería Sur-Vetilla 1-Subnivel 3.	183
Tabla XCII Resultados de evaluación geomecánica RMR para la galería Veta B.	183
Tabla XCIII Valores determinados mediante el software Rock Data para la Galería Veta B.	184
Tabla XCIV Especificaciones de las cuñas formadas por la intersección de discontinuidades para la galería Veta b, detalla factor de seguridad y peso de cada una.	185
Tabla XCV Resultados de la variación del factor de seguridad para la Galería Veta B.	187

Tabla XCVI Resultados de evaluación geomecánica RMR para las galerías del sector Frente 11-Subnivel 2.	188
Tabla XCVIII Valores determinados mediante el software Rock Data para la Galería Norte Frente 11.	188
Tabla XCIX Especificaciones de las cuñas formadas por la intersección de discontinuidades para la galería norte-subnivel 2, sector Frente 11; detalla factor de seguridad y peso de cada una.	189
Tabla XCIX Resultados de la variación del factor de seguridad para la Galería Norte Frente 11.	191
Tabla C Valores determinados mediante el software Rock Data para la Galería Sur-Frente 11.	191
Tabla CII Especificaciones de las cuñas formadas por la intersección de discontinuidades para la galería sur subnivel 2, sector Frente 11; detalla factor de seguridad y peso de cada una.	192
Tabla CII Resultados de la variación del factor de seguridad para la Galería Norte Frente 11.	194
Tabla CIII Dimensiones y especificaciones del tipo de perno empleado para la Galería Norte-Vetilla 1.	197
Tabla CIV Dimensiones y especificaciones del tipo de perno empleado para la Galería Norte-Veta B.	199
Tabla CV Dimensiones y especificaciones del tipo de	201
Tabla CVI Dimensiones y especificaciones del tipo de	203

Tabla CVII Dimensiones y especificaciones del tipo de perno empleado para
la Galería Sur-Sub 2-Bocamina205

CAPITULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

La Sociedad Minera Liga de Oro, realiza la explotación y extracción de minerales metálicos de yacimientos de tipo filonianos, desarrollando labores de acuerdo con la disposición de la mineralización (rumbo y buzamiento). Debido a la continuidad de la mineralización a medida que se profundiza en las labores subterráneas, ha permitido definir nuevos subniveles y frentes de extracción mineral, actualmente se encuentran en desarrollo 10 galerías de explotación con un avance promedio de 15 metros mensuales cada una.

El estudio de las caracterizaciones geomecánicas de las labores mineras siempre han sido objeto de evaluación por parte del departamento de mina de la empresa, debido a que en una excavación subterránea el riesgo inminente de sufrir accidentes por desprendimientos de masas rocosas siempre se encuentra presente y se requiere plantear una solución a este problema.

El presente trabajo de caracterización geotécnica se realiza medida que desarrollan los trabajos de perforación y voladura de las galerías de preparación de las diferentes secciones de trabajo con el objetivo de contar con una valoración de la calidad de la masa rocosa y determinar o recomendar algún tipo de sostenimiento de ser necesario. Además, esta evaluación geomecánica a largo plazo servirá de soporte técnico para

condicionar el diseño y evaluación económica de la fortificación conforme al método de explotación definido a lo largo del bloque.

1.2. Planteamiento del Problema

1.2.1. Definición del Problema

La minería es una de las actividades que presenta mayores riesgos de accidentes laborales a nivel mundial. Según la Organización Internacional del Trabajo, en la minería se dan el 8% de los accidentes mortales en el trabajo (Trabajo, 2015). Uno de los mayores accidentes en el minado subterráneo es por desprendimientos o caída de rocas, esto debido a la alteración de las condiciones de equilibrio que sufre la masa rocosa al realizar una excavación, ocasionando fracturamientos, lajamientos que generan desprendimientos de rocas a través de los planos de discontinuidad producidos.

Durante las labores de avance mediante perforación y voladura de las galerías de explotación se han manifestado un número significativo de fracturas, diaclasas y bloques en la masa rocosa circundante generando posibles zonas inestables que pueden representar un riesgo inminente para el personal que circula por esa labor.

1.2.2. Justificación

En labores subterráneas, la identificación e inspección de inestabilidades de masa rocosa debe realizarse de forma continua, debido a que diferentes

parámetros pueden afectar la calidad de la roca tales como litología, intemperización, alteraciones, rellenos, condiciones de mineralización entre otros.

Las clasificaciones geomecánicas empleadas a nivel mundial denominadas modernas son el Sistema RMR (Bieniawski) y Q (Barton), estas combinan diferentes atributos del macizo rocoso, valorando cualitativamente a la roca y realizando recomendaciones de tipos sostenimiento que se puede emplear según calidad de la roca.

La caracterización geotécnica se desarrollará en los sectores de avances denominados Bocamina, Vetilla 1, Veta B, Nivel C y Frente 11 de Sociedad Minera Liga de Oro.

El mapeo geomecánico de cada sector de avance permitirá determinar las principales familias de discontinuidades así como la calidad del macizo rocoso que se puede presentar a lo largo de las labores, proyectando y zonificando el estado de la masa rocosa de las diferentes secciones de trabajo de interior mina, esto brindará la facilidad de planificar adecuadamente el tipo de sostenimiento a emplear según los avances de explotación mineral que se desarrollen en el área, garantizando la seguridad integral de los trabajadores o evitando algún tipo de paralización o cierre debido a zonas de derrumbe que generan pérdidas económicas

significativas ya que se interrumpe el ritmo continuo de la producción del área.

1.2.3. Alcance

El alcance del proyecto de investigación se establece en la presentación de la caracterización geomecánica de aproximadamente 350 metros de galerías de las cinco secciones de trabajo de Sociedad Minera Liga de Oro, describiendo la calidad del macizo rocoso metro a metro, así como una ficha con los principales dominios estructurales de las discontinuidades de cada labor; una vez definidos estos parámetros se analizará el factor de seguridad de posibles cuñas mediante el uso de software con el objetivo de evaluar el tipo de sostenimiento más adecuado.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Proponer técnicas de sostenimiento en las principales galerías de avance de la mina Liga de Oro, empleando la caracterización geomecánica para garantizar la estabilidad de estas labores mineras subterráneas.

1.3.2. Objetivos Específicos

1. Efectuar un mapeo geomecánico a detalle de las principales estructuras geológicas, haciendo uso de fichas geomecánicas e implementos de

campo, para determinar las principales características geomecánicas del macizo rocoso a lo largo de cada galería.

2. Determinar la calidad del macizo rocoso de cada labor minera, basado en la aplicación de las clasificaciones geomecánicas RMR (Bieniawski, 1989), para definir galerías que presenten mayor problema de inestabilidad.
3. Evaluar el factor de seguridad de los bloques inestables de roca formadas producto de la intersección de familias de discontinuadas de cada galería, a través del modelamiento de las cuñas en el software Unwedge v 3.0 , para definir una alternativa de sostenimiento.
4. Recomendar un tipo de sostenimiento adecuado que permita modificar el factor de seguridad de las cuñas formadas en cada una de las galerías, con el fin de estabilizar los bloques de roca que se presentan al largo de las labores mineras objeto de estudio.

1.4. Diagnóstico actual de la mina

1.4.1. Ubicación del Área de Estudio

La Sociedad Minera Liga de Oro se encuentra ubicada en el cantón Camilo Ponce Enríquez, provincia del Azuay, sector La López a 5 km de la zona urbana. La operación minera la realiza en la concesión Bella Rica,

establecida en un área aproximada de 1350 hectáreas mineras. La geografía del sector comprende elevaciones entre 100 y 1050 m.s.n.m.

La **Figura. 1.1**, presenta un esquema del área de estudio.

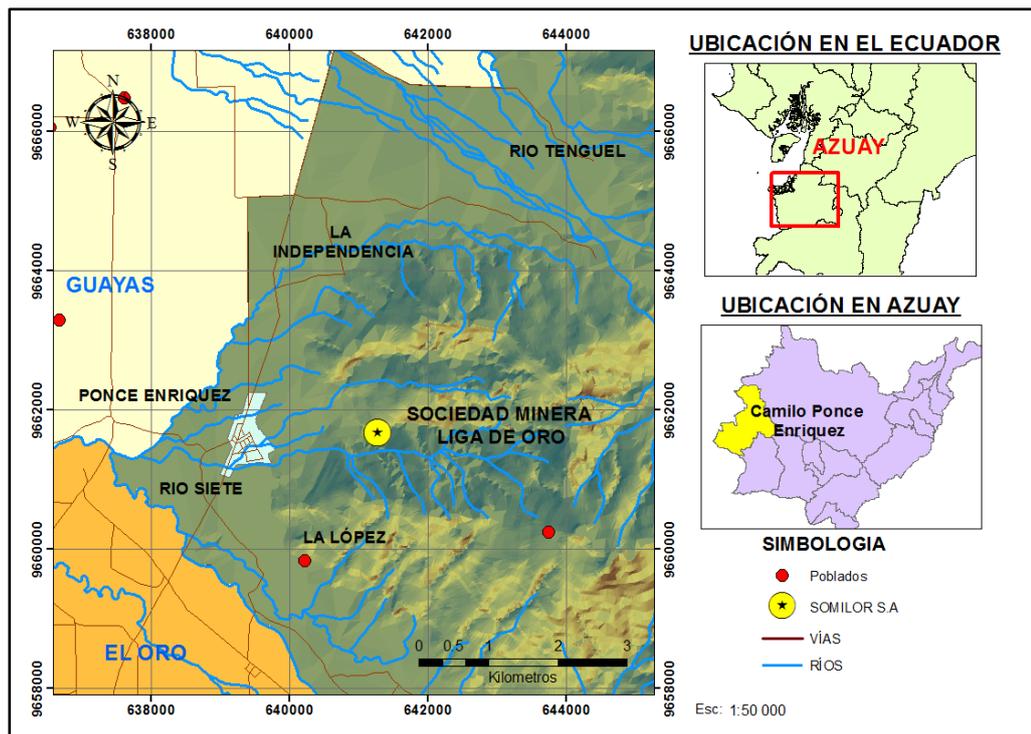


Figura. 1.1 Ubicación Geográfica de la mina objeto de estudio
Fuente: Gualacata, J., 2018.

1.4.2. Marco Geológico

- **Geología Regional y Local**

El distrito minero de Ponce Enríquez se encuentra ubicado dentro de la Unidad Pallatanga (Cretácico Medio Temprano, Pre-Senosiense), la cual está limitada por fallas provenientes del occidente de la Cordillera

Occidental, junto con otras formaciones que van de edades cretácicas a cuaternarias (Paladines & Rosero, 1996). Desde el basamento hacia la superficie se encuentran las siguientes formaciones:

La Unidad Pallatanga está comprendida por basaltos toleíticos de carácter lávico, masivo y almohadillado y doleritas. También pueden aparecer rocas ultramáficas y metamórficas de grado medio, tales como esquistos y gneises. Esta unidad se encuentra discordantemente con el Grupo Saraguro (Vallejo et al, 2009) (Nuñez del Arco, 2003).

La Fm. Yunguilla (Cretácico Superior, Maastrichtiense), es una secuencia de abanico turbidítico definido por una serie de limolitas masivas, areniscas cuarzo feldespáticas y cuarzoarenitas (Duque, 2000).

La Fm. Macuchi (Paleoceno-Eoceno Medio) comprende un conjunto de areniscas volcánicas, limolitas, tobas y lavas andesíticas y basáltico-andesíticas. Las lavas presentan texturas desde porfídicas con fenocristales de plagioclasa hasta afaníticas. Representa el basamento de un arco de islas (Duque, 2000).

- **Geología estructural del Sector**

Las vetas y vetillas de un modo general se pueden agrupar en dos fajas estructurales, de rumbo: Este-Oeste (N75°E) y N15°-20°W, con buzamientos

al Este. Un sistema de fallas orientado en sentido N15-20°W controla la mineralización (Paladines & Rosero, 1996).

En la mina Liga de Oro las estructuras mineralizadas del yacimiento se presentan en dirección Norte-Sur, con buzamientos al Este entre 35 y 70 grados y potencias entre 10-60 cm. Las principales vetas identificadas en el sector son: Bocamina, Vetilla, La Poderosa, Tortuga y Frente 11.

La alteración más notable en el área es una silicificación intensa, acompañada frecuentemente de clorita y epidota. Parcialmente y juntamente con la silicificación, la roca presenta una fina disseminación de piritas en cristales idiomorfos y en vetillas cortas. (Paladines & Rosero, 1996).

- **Mineralización del Sector**

Según el Departamento de Geología de la mina, los principales minerales que se presentan en las vetas de la mina son: pirita, calcopirita, pirrotina, arsenopirita y galena. El mineral aurífero se encuentra encapsulado en cristales de cuarzo.

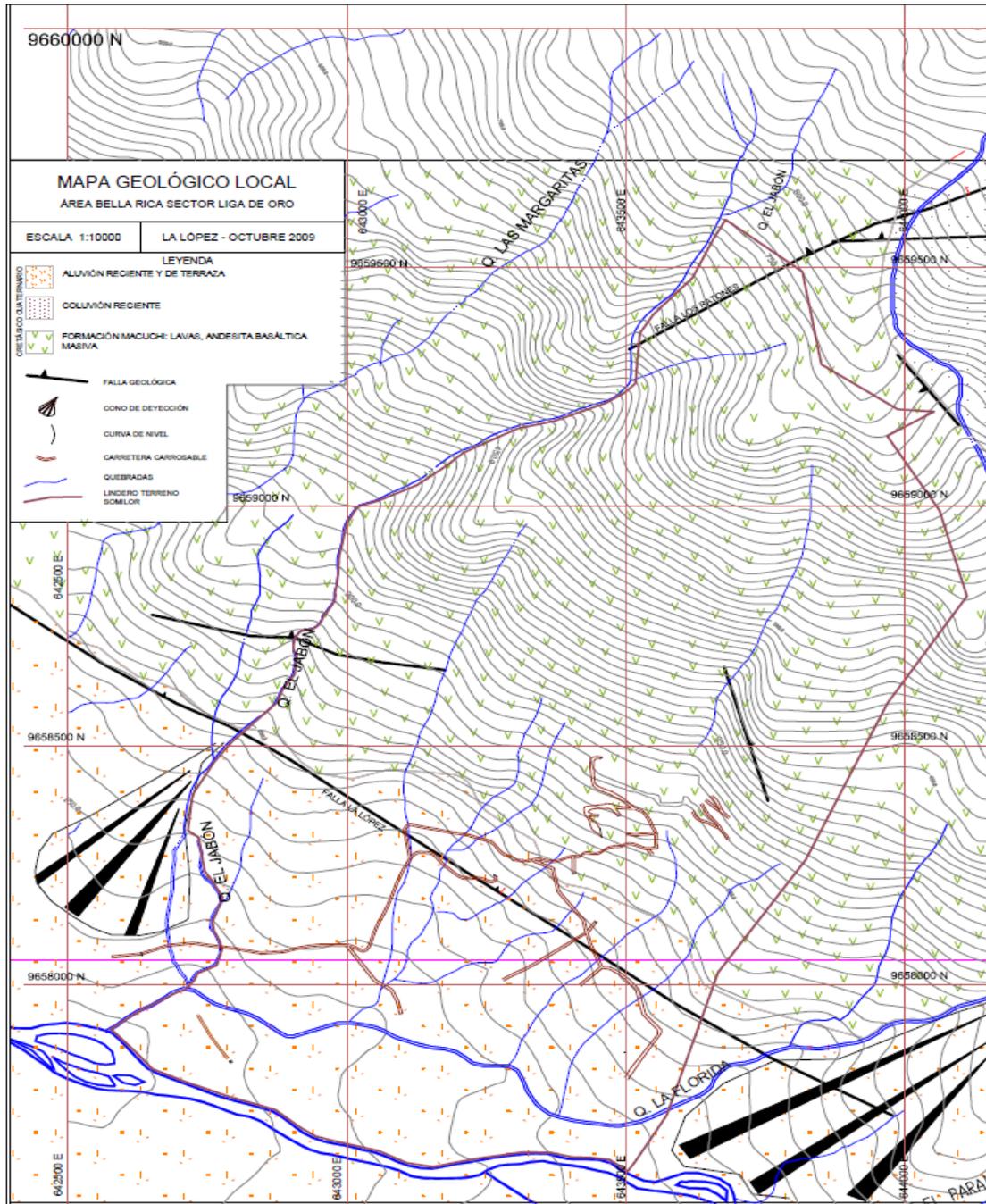


Figura. 1.2 Cartografía Geológica Liga de Oro
Fuente: Departamento de Geología SOMILOR S.A, 2009

1.4.3. Método de Explotación

Los depósitos minerales de la mina son cuerpos irregulares, buzamientos sub-verticales y potencias entre 0.10 y 0.60 m, según estas características el método de explotación aplicable es Corte y Relleno Ascendente.

Para delimitar el yacimiento mineral explotable, se desarrollan en primer lugar pozos que son excavaciones sub verticales que servirán como labor para la instalación de equipos de izaje (winches) que permitirán la evacuación del mineral explotado a superficie, además de medio de transporte para insumos y maquinaria a los diferentes frentes de trabajos.

A ambos lados del pozo (sentido Norte y Sur) se desarrollan las galerías de avance o galerías de nivel que son excavaciones horizontales siguiendo el rumbo de la mineralización, estas galerías interceptan las estructuras mineralizadas y se extienden tanto como la continuidad de esta lo permita, así como las leyes minerales estén sobre la ley de corte de trabajo.

Definidas las galerías de nivel, cada 25 m se desarrollan chimeneas y sobre chimeneas que delimitan los bloques de explotación, aproximadamente 5 m sobre la galería de nivel (pilares de techo) se desarrollan una sobrelínea desde la cual se realizará la explotación en rebanadas horizontales (tajos), cada 15m se dejaran pilares de sostenimiento en veta de 5 x 7 m y rellenando con roca de caja

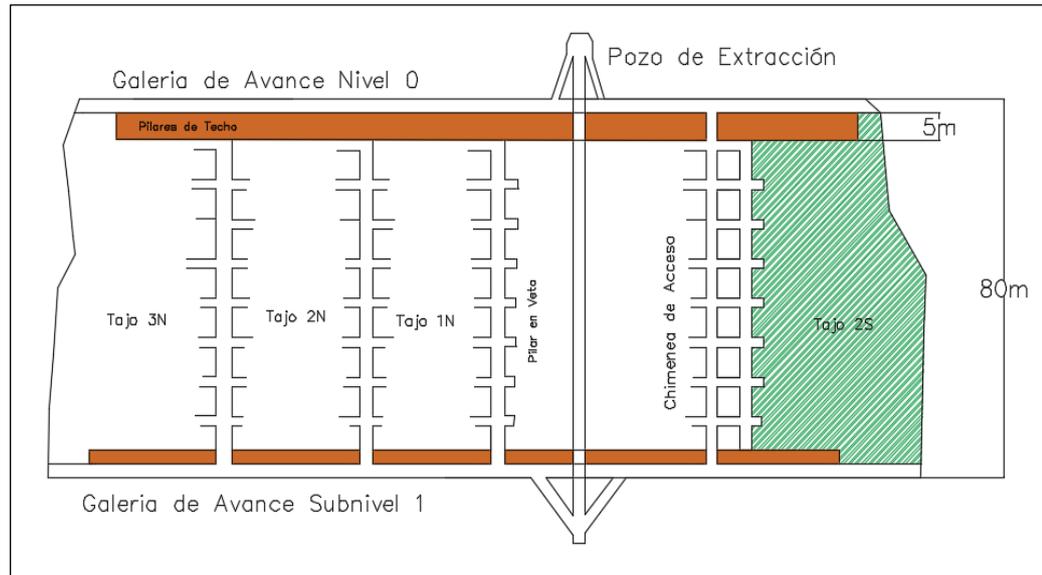


Figura. 1.3 Esquema base de explotación Corte y Relleno empleado en la mina Liga de Oro.

Fuente: Gualacata, J., 2018.

.Perforación y Voladura de las Galerías de Explotación

Las dimensiones de las galerías de avance por lo general son de 2 m de ancho x 2.5 m de altura de forma abovedada (**Figura. 1.4**), estas galerías interceptan las estructuras mineralizadas, razón por la cual la perforación y voladura se realiza por secciones, es decir en primer lugar se perfora roca estéril y luego la sección mineralizada.

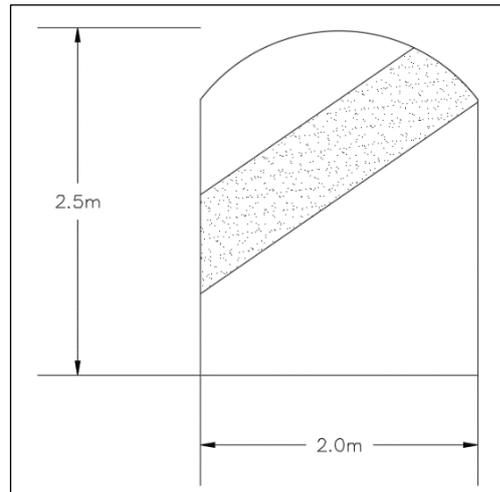


Figura. 1.4 Dimensión Estándar de una Galería de Explotación.

Fuente: Gualacata, J., 2018.

La primera sección de perforación se realiza en roca estéril, para la operación se utiliza barrenos de 1.80 m, perforando inicialmente sólo alrededor del área mineralizada. El número de perforaciones en roca de caja varía entre 10- 11 (**Figura. 1.7**) taladros para finalmente realizar la perforación del área mineralizada, con un número aproximado de 18 perforaciones la cual se carga con material explosivo para su posterior voladura, en total una galería estándar consta de 30-35 perforaciones (**Figura. 1.8**) y el avance efectivo por cada voladura es de aproximadamente de 1.45 m.

La distribución de la carga explosiva de cada perforación se realiza de la siguiente forma:

Como carga explosiva para el cuele se emplea el esquema de la **Figura. 1.5**, utilizando dos cartuchos de explogel como carga de fondo y como carga de columna ANFO, el cuele lleva una mayor densidad de carga en comparación con el resto de los taladros debido a estos realizan la apertura de la cara libre de la perforación. Para los demás barrenos de ayuda de la malla de perforación solo se utiliza un cartucho de explogel y lo demás será rellenado ANFO (**Figura. 6**).

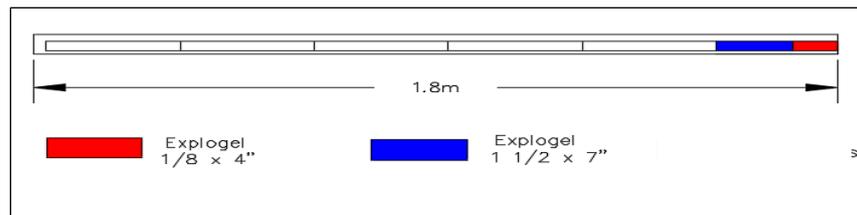


Figura. 1.5 Distribución de carga explosiva para el cuele
Fuente: Gualacata, J., 2018.

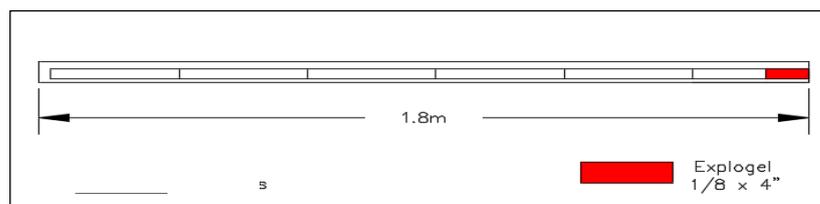


Figura. 1.6 Distribución de carga explosiva para barrenos de ayuda.

Fuente: Gualacata, J., 2018.

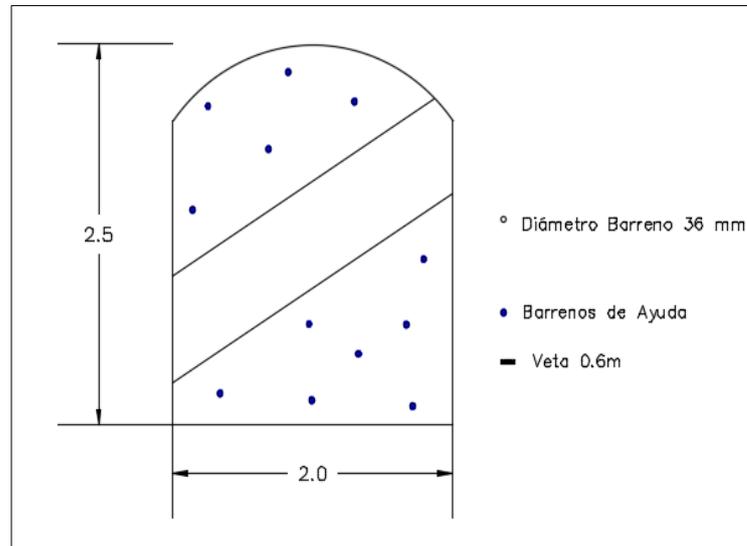


Figura. 1.7 Esquema inicial de perforación para una galería de nivel.

Fuente: Gualacata, J., 2018.

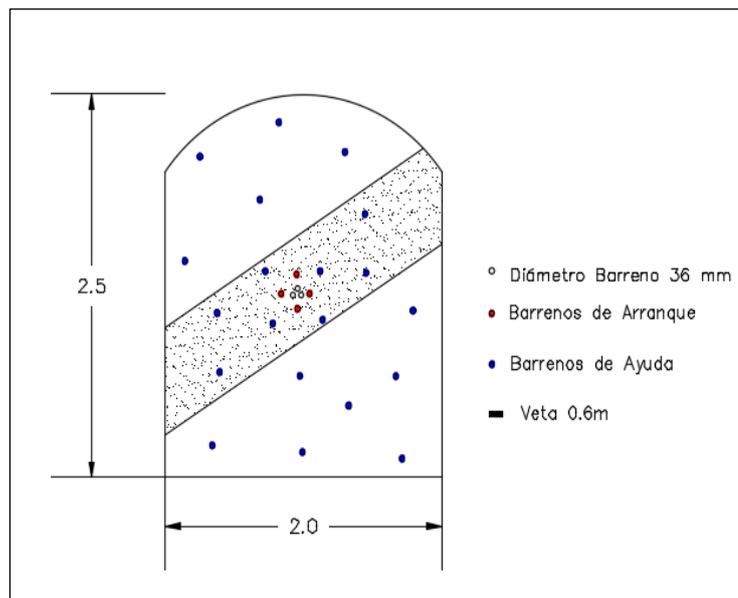


Figura. 1.8 Malla de Perforación completa para una galería de nivel.

Fuente: Gualacata, J., 2018.

CAPITULO 2

METODOLOGÍA Y MARCO TEÒRICO

2.1. Metodología

El presente proyecto de investigación comprende III fases; la **Figura. 2.1**, presenta un diagrama de flujo de los principales puntos de desarrollo de cada fase.

Fase I.- Comprende la recopilación de información bibliográfica, relacionada al tema de parámetros que comprenden las clasificaciones geomecánicas modernas, características geológicas del sector, topografía subterránea de la mina, investigaciones previas referentes al tema, etc., además de elaborar plantillas para la toma de datos en campo que permitan generar la mayor densidad de muestreo posible de las características del macizo rocoso.

Fase II.- Esta fase consiste en la toma de datos in situ; se realizará mediciones de rumbo y buzamiento de las discontinuidades, estratos, fallas o algún plano de deslizamiento que se encuentren a lo largo de las labores de avance de cada galería, paralelamente se llevara a cabo la descripción de las características de las discontinuidades tales como: relleno, alteración, continuidad, geología etc. para valorar la calidad del macizo rocoso según los criterios de las clasificaciones geomecánicas. Se tomará muestras de roca representativa de caja de cada galería para ensayos de compresión simple y densidad con el objetivo de evaluar la resistencia a la rotura de la roca.

Fase III.- La parte final de la investigación comprende la tabulación de toda la información obtenida durante la fase II, en esta etapa se determinará la calidad del macizo y las principales familias de discontinuidades que pueden representar condiciones desfavorables para la estabilidad. Mediante el empleo del software Unwedge v 3.0, se evaluará el factor de seguridad de las cuñas formadas por las discontinuidades para así recomendar el tipo de sostenimiento que pueda contrarrestar esta afectación a las galerías de avance.

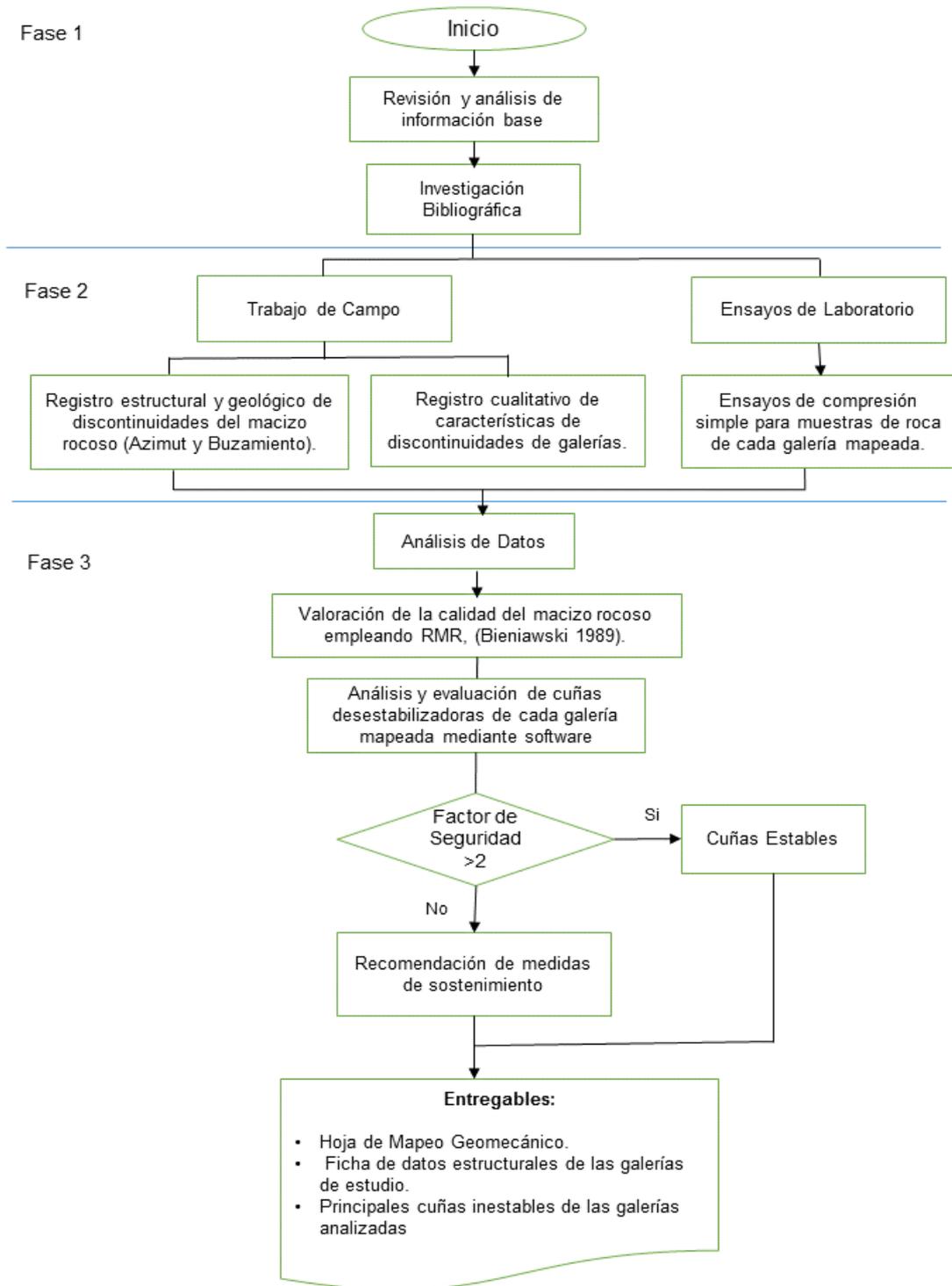


Figura. 4.1 Esquema de metodología de trabajo.

Fuente: Gualacata, J., 2018.

2.2. Marco Teórico

2.2.1. Parámetros Geomecánicos

Los factores que influyen sobre el comportamiento mecánico de los macizos rocosos y que afectan a la estabilidad de las excavaciones subterráneas pueden ser divididos en tres grupos, dependiendo de los aspectos estudiados (Muñoz & Vallejo, 1987).

a) Parámetros de Matriz Rocosa

Estudia las propiedades de la roca circundante de la excavación tales como: petrografía, textura, color, dureza, etc.

b) Parámetros de macizo rocoso

Evalúa la interacción producida entre los bloques de la matriz rocosa y las juntas o discontinuidades que se presentan tales como: Número de familias, orientación, espaciado, continuidad, etc.

c) Parámetros geotécnicos- constructivos

Valora las perturbaciones que se generan por alteración del estado tensional de la roca en torno a la excavación.

2.2.2. Clasificaciones Geomecánicas

Las clasificaciones geomecánicas evalúan las propiedades del macizo rocoso compuesto por la roca intacta y las discontinuidades, los criterios que

evalúan estas clasificaciones se basan en cuantificaciones de ciertos parámetros que permiten definir la calidad del macizo rocoso.

En la actualidad, las clasificaciones más aceptadas a nivel mundial son las de Barton y Bieniawski, los parámetros comunes entre estas dos clasificaciones son: el RQD y el grado de presencia de agua en el macizo rocoso, las otras características son consideradas de diferente forma y criterio en ambas metodologías; a continuación, se presenta una tabla que relaciona los diferentes parámetros a considerar tanto para RMR y Q de Barton.

Tabla I Relación de parámetros de las clasificaciones RMR y Q de Barton.

	RMR (Bieniawski,1989)	Q (Barton)
Resistencia Compresión roca intacta	Si	en parte (SRF)
R.Q.D	Si	Si
Espaciado de la discontinuidad	Si	en parte (Jn)
Condiciones de Agua	Si	Si
Orientación de la discontinuidad con respecto a la orientación de la galería.	Si	No
N.º Discontinuidades	En parte	Si
Rugosidad de las discontinuidades	Si	Si
Alteración	Si	Si
Destino de la estructura	en parte	Si

Fuente: Celada, B., 2000.

Para el presente estudio se hace uso de la clasificación RMR, Bieniawski, 1989; debido a que requiere evaluar la afectación que tiene la desviación en la dirección de las galerías de explotación en la formación de bloques inestables de roca a lo largo de su longitud.

Índice RMR (Rock Mass Rating)

Este sistema fue desarrollado por Z.T Bieniawski durante los años 1972-1973 el cual ha sido modificado a lo largo de los años, en la actualidad se usa la edición de 1989 (Muñoz & Vallejo, 1987). Para determinar el índice RMR se evalúa seis parámetros que pueden ser establecidos tanto in situ como en laboratorio en el caso de la resistencia a la compresión simple del material. A continuación, se detalla los parámetros a determinar; siendo estos:

1. Resistencia a la compresión simple del material.
2. RDQ (Rock Quality Designation).
3. Estado de las discontinuidades
4. Presencia de Agua
5. Orientación de las discontinuidades.

El RMR obtenido es la suma de los seis parámetros mencionados anteriormente, esta puntuación estará en el rango de 0-100, la calidad de la roca se valora de la siguiente manera (González de Vallejo, 2002):

CLASE I: RMR > 80, Roca muy Buena

CLASE II: $80 < \text{RMR} < 60$, Roca Buena

CLASE III: $60 < \text{RMR} < 40$, Roca Media

CLASE IV: $40 < \text{RMR} < 20$, Roca mala

CLASE V: $\text{RMR} > 20$, Roca muy mala.

1. Resistencia a la compresión simple del material.

La resistencia de la matriz rocosa puede ser estimada por medio de índices de campo, empleando instrumentos como el martillo de Smith. La **Figura. 2.2**, detalla las relaciones para establecer la resistencia a la compresión simple in situ

Clase (a)	Calificación de la roca según su resistencia	Resistencia uniaxial (MPa)	Índice de carga puntual (MPa)	Estimación en terreno de la resistencia	Ejemplos
R6	Extremadamente Resistente	> 250	> 10	Golpes de martillo geológico sólo causan descostramientos superficiales en la roca.	Basalto fresco, chert, diabasa, gneiss, granito, cuarcita.
R5	Muy Resistente	100 – 250	4 – 10	Un trozo de roca requiere varios golpes de martillo geológico para fracturarse.	Anfibolita, arenisca, basalto, gabro, gneiss, granodiorita, caliza, mármol, riolita, toba.
R4	Resistente	50 – 100	2 – 4	Un trozo de roca requiere más de un golpe con el martillo geológico para fracturarse.	Caliza, mármol, filitas, arenisca, esquistos, pizarras.
R3	Moderadamente Resistente	25 – 50	1 – 2	Un trozo de roca puede fracturarse con un único golpe del martillo geológico, pero no es posible descostrar la roca con un cortaplumas.	Arcillolita, carbón, concreto, esquistos, pizarras, limolitas.
R2	Débil	5 – 25	(b)	Un golpe con la punta del martillo geológico deja una indentación superficial. La roca puede ser descostrada con una cortaplumas pero con dificultad.	Creta, sal mineral, potasio.
R1	Muy Débil	1 – 5		La roca se disgrega al ser golpeada con la punta del martillo geológico. La roca puede ser descostrada con un cortaplumas.	Roca muy alterada o muy meteorizada.
R0	Extremadamente Débil	0,25 – 1		La roca puede ser indentada con la uña del pulgar.	Salbanda arcillosa dura.

Figura. 4.2 Estimación de la Resistencia a la Comprensión Simple en Terreno.

Fuente: Hoek y Brown, 1997

2. RDQ (Rock Quality Designation)

En 1964 Deere propuso un índice cuantitativo de la calidad de la roca basado en la recuperación de núcleos con perforación de diamante, este sistema se ha usado en todas partes por su útil aporte para la clasificación del macizo rocoso y la selección de refuerzos en las galerías.

Deere propuso la siguiente relación entre el valor numérico RQD y la calidad de la roca, la **Tabla II** detalla los criterios del RQD.

Tabla II Valoración RQD y calidad de la roca.

RQD	Calidad de Roca
< 25%	Muy Mala
25-50%	Mala
50-75%	Regular
75-90%	Buena
90-100%	Muy Buena

Fuente: González de Vallejo, L., 2002.

➤ **Criterio de Priest y Hudson**

(Hudson & Priest, 1979), propone que al no disponer de sondajes del macizo rocoso una de las alternativas que resulta adecuada para el cálculo del índice RQD es la metodología propuesta por Priest y Hudson (1981), la cual emplea el índice de fracturas por metro lineal (λ) en la siguiente Ec.1:

$$RQD_{\lambda}(\%) = 100e^{-0.1\lambda}(0.1\lambda + 1) \quad \text{Ec.1}$$

Donde:

λ =Numero de juntas por metro lineal.

3. Estado de las discontinuidades

- **Orientación**

La orientación de las discontinuidades con respecto a las estructuras u obras de excavación condiciona la presencia de inestabilidades y posibles roturas.

La orientación de una discontinuidad queda definida por su dirección de buzamiento (dirección de máxima línea de pendiente de la discontinuidad con respecto al norte) y buzamiento (inclinación con respecto a la horizontal).

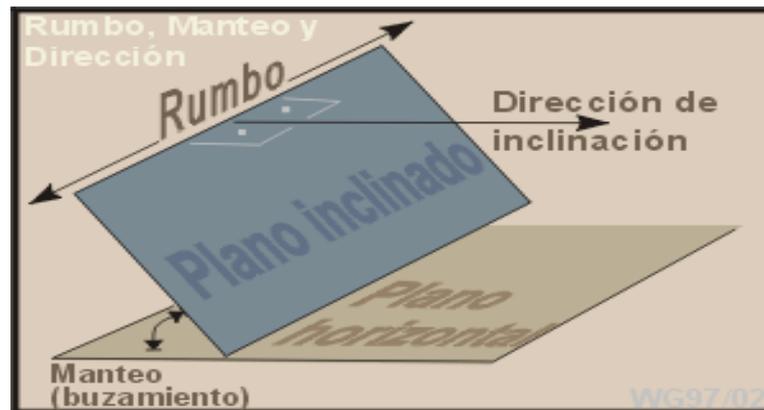


Figura. 4.3 Posición de la discontinuidad en el espacio.
Fuente: (González de Vallejo, 2002)

- **Espaciado**

El espaciado se define como la distancia entre dos planos de discontinuidad de una misma familia, medida en dirección perpendicular a dichos planos, este valor se refiere al espaciado medio de los valores de una misma familia (González de Vallejo, 2002).

La **Tabla III**, describe los rangos de espaciado y su descripción correspondiente.

Tabla III Consideraciones para describir el espaciado entre discontinuidades.

Espaciado	Descripción
>20 mm	Extremadamente junto
20-60 mm	Muy Junto
60-200 mm	Junto
200-600 mm	Moderadamente Junto
0.6 m -2 m	Separado
2m - 6 m	Muy Separado
> 6m	Extremadamente Separado

Fuente: González de Vallejo, L., 2002.

- **Persistencia**

Se define como la extensión superficial, medida por la longitud según la dirección del plano y el buzamiento de este, básicamente se trata de indicar donde comienza y donde termina la discontinuidad en varias direcciones (González de Vallejo, 2002).

La persistencia se describe según la **Tabla IV**.

Tabla IV Consideraciones para describir la persistencia de una discontinuidad.

Continuidad	Longitud
Muy baja continuidad	>1 m
Baja continuidad	1-3 m
Alta continuidad	10-20 m
Muy alta continuidad	> 20 m

Fuente: González de Vallejo, L., 2002

- **Alteración de las paredes**

Se define como el grado de meteorización de los labios de las discontinuidades, para esto se toma en cuenta las siguientes consideraciones según la **Tabla V**:

Tabla V Consideraciones para valorar la alteración de las paredes de una discontinuidad.

TÉRMINO REFERIDO A LAS PAREDES DE LAS DISCONTINUIDADES	DESCRIPCIÓN
ROCA FRESCA O INALTERADA	No hay signos visibles de alteración: roca fresca, cristales brillantes
ROCA LIGERAMENTE ALTERADA	Las discontinuidades están manchadas o decoloradas y pueden contener un relleno fino de material alterado. La decoloración puede extenderse a la roca desde la superficie de la discontinuidad a una distancia de hasta 20% del espacio de la discontinuidad
ROCA MODERADAMENTE ALTERADA	Leve decoloración que se extiende desde los planos de discontinuidad hasta más del 20% del espaciado de la discontinuidad. Las discontinuidades pueden contener relleno de material alterado.
ROCA MUY ALTERADA	La decoloración se extiende por toda la roca y el material rocoso es parcialmente friable o desmenuzable
ROCA DESCOMPUESTA	Completamente alterada. La roca se ha decolorado completamente y se ha descompuesto en un suelo disgregable. La apariencia externa es la de un suelo.

Fuente: Jordá, Tomas, Arlandi y Abellán, 2016.

- **Rugosidad**

Evalúa la resistencia al corte de los planos, la rugosidad aumenta la resistencia al corte que decrece con el aumento de la abertura (González de

Vallejo, 2002). El criterio RMR, Bieniawski 1989; considera cinco superficies que son: Suave, Ondulada, Ligeramente Rugosa, Rugosa y Muy Rugosa.

- **Abertura**

Se define como la distancia perpendicular existente entre dos bloques o superficies separadas de la discontinuidad. La Tabla VI describe las discontinuidades con respecto a su abertura.

Tabla VI Consideraciones para describir la abertura de una discontinuidad.

ABERTURA	DESCRIPCIÓN
<0.1 mm	Muy cerrada
0.1-0.25 mm	Cerrada
0.25- 0.5 mm	Parcialmente abierta
0.5- 2.5 mm	Abierta
2.5-10 mm	Moderadamente ancha
>10 mm	Ancha
1-10 cm	Muy Ancha
10-100 cm	Extremadamente ancha
>1m	Cavernosa

Fuente: González de Vallejo, L., 2002

- **Relleno**

La presencia de rellenos en las discontinuidades condiciona el comportamiento de la discontinuidad ya que existe una gran variedad de materiales de relleno con propiedades físicas y mecánicas muy variables que pueden generar desplazamiento a largo plazo (González de Vallejo, 2002).

En labores de excavaciones mineras subterráneas los principales tipos de relleno que se encuentran son: Cuarzo (Qz), Arcillas y Limos (C), Óxidos (Ox), Feldespatos (F), más sin embargo, encontrar hasta dos o más materiales de relleno en una discontinuidad es lo que más común (González de Vallejo, 2002).

4. Agua freática (Filtraciones)

El agua en el interior de un macizo rocoso procede del flujo que circula por las discontinuidades. La descripción se realiza tomando en cuenta las consideraciones de la **Tabla VII** que evalúa el grado de humedad por cada 10 m de galería.

Tabla VII Condición del agua en las discontinuidades.

Caudal por 10m de galería	Grado de Humedad
Nulo	Seco
>10 litros/min	Ligeramente Húmedo
10-25 litros/min	Húmedo
0.5- 2.5 mm	Goteando
2.5-10 mm	Agua Fluyendo

Fuente: González de Vallejo, L., 2002

5. Corrección por Orientación de Discontinuidades

Este parámetro tiene una valoración negativa, y oscila para galerías entre 0 y -12 puntos. En función del buzamiento de la familia de diaclasas y de su rumbo en relación con el eje de la galería (paralelo o perpendicular) se

establece una clasificación de la discontinuidad en cinco tipos: desde Muy Favorable hasta Muy Desfavorable (Jordá L. , 2015).

Tabla VIII Corrección de Orientación por Juntas

Orientación de rumbo y buzamiento de las discontinuidades		Muy Favorable	Favorable	Medio	Desfavorable	Muy Desfavorable
Valoración para	Galerías	0	-2	-5	-10	-12
	Cimentación	0	-2	-7	-15	-25
	Taludes	0	-5	-25	-50	-60

Fuente: González de Vallejo, L., 2002

Parámetro		Rango de Valores								
1	Resistencia de Roca Intacta	Ensayo Carga Puntual	> 10 Mpa	4-10 Mpa	2-4 Mpa	1-2 Mpa				
		Compresión Simple	> 250 Mpa	100-250 MPa	50-100 MPa	25-50 MPa	5-25 MPa	1-5 MPa	< 1 MPa	
	Valor	15	12	7	4	2	1	0		
2	RQD	90%-100%	75%-90%	50%-75%	25%-50%	<25%				
	Valor	20	17	13	6	3				
3	Espaciado de las discontinuidades	>2 m	0.6-2 m	0.2-0.6 m	0.06-0.2 m	< 0.06 m				
	Valor	20	15	10	8	5				
4	Estado de las discontinuidades	Longitud de la discontinuidad	< 1m	1-3m	3-10m	10-20 m	>20 m			
		Valor	6	4	2	1	0			
		Abertura	Nada	< 0.1 mm	0.1-1 mm	1-5 mm	> 5mm			
		Valor	6	5	3	1	0			
		Rugosidad	Muy Rugosa	Rugosa	Ligeramente Rugosa	Ondulada	Suave			
		Valor	6	5	3	1	0			
		Relleno	Ninguno	Relleno Duro < 5mm	Relleno duro > 5mm	Relleno blando < 5mm	Relleno Blando > 5mm			
		Valor	6	4	2	2	0			
Alteracion	Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadamente alterada	Muy alterada	Descompuesta					
	Valor	6	5	3	1	0				
5	Agua Freatica	Caudal por 10 m de Túnel	Nulo	< 10 litros/min	10-25 litros/min	35-125 litros/min	> 125 litros/min			
		Estado General	Seco	Ligeramente Humedo	Humedo	Goteando	Agua Fluyendo			
	Puntuacion	15	10	7	4	0				
6	Correccion por la orientacion de las discontinuidades	Direccion y buzamiento		Muy Favorables	Favorables	Medias	Desfavorables	Muy desfavorables		
		Puntuacion	Tuneles	0	-2	-5	-10	-12		
			Cimentaciones	0	-2	-7	-15	-25		
			Taludes	0	-5	-25	-50	-60		

Figura. 4.4 Parámetros de Clasificación RMR y su valoración
Fuente: Bieniawski, 1989.

La **Figura. 2.4**, describe las valoraciones respectivas que cada parámetro asigna según la Clasificación de Bieniawski.

La clasificación de Bieniawski además de la calidad del macizo rocoso también indica el tipo de sostenimiento y el modo de excavación a emplear; la **Tabla IX** detalla lo descrito.

Tabla IX Sostenimientos y longitud de pase según criterios de evaluación geo mecánica RMR Bieniawski, 1989.

Clase RMR	Excavación	Sostenimiento		
		Bulones	Gunitado	Cerchas
I 100-81	Sección completa. Avances de 3 m.	Innecesario, salvo algún bulón ocasional	No	No
II 80-61	Sección completa. Avances de 1-1,5 m	Bulonado local en clave, con longitudes de 2-3 m y separación de 2-2,5 m eventualmente con mallado.	5 cm en clave para impermeabilización	No
III 60-41	Avance y destroza. Avances de 1,5 a 3,0 m. completar sostenimiento a 20 m del frente.	Bulonado sistemático de 3-4 m con separaciones de 1,5 a 2 m en clave y hastiales. Mallado en clave.	5 a 10 cm en clave y 3 cm en hastiales	No
IV 40-21	Avance y destroza. Avances de 1,0 a 1,5 m. sostenimiento inmediato del frente, completar sostenimiento a menos de 10 m del frente.	Bulonado sistemático de 4-5 m con separaciones de 1-1,5 m en clave y hastiales con mallazo	10 a 15 cm en clave y 10 cm en hastiales. Aplicación según avanza la excavación.	Cerchas ligeras espaciadas 1,5 m cuando se requieran.
V ≤20	Fases múltiples. Avances de 0,5 a 1 m. gunitado inmediatament	Bulonado sistemático de 5-6 m con separaciones de 1-1,5 m en clave	15-20 cm en clave, 15 cm en hastiales y 5 cm en el frente.	Cerchas pesadas 0,75 m con blindaje de

	e el frente después de cada avance.	y hastiales con mallado.	Aplicación inmediata después de cada avance.	chapas y cerradas en solera.
Galerías de sección en herradura, máxima anchura 10 m, máxima tensión vertical 250 kp/cm²				

Fuente: (Bieniawski, 1989).

2.2.3. Criterios de Rotura.

Criterio Generalizado Hoek -Brown

El criterio de falla generalizado de Hoek-Brown para macizos rocosos fracturados está definido por la **Ec.2**:

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \sigma_{ci} \left(m_b \frac{\sigma_3}{\sigma_{ci}} + s \right)^a \quad \text{Ec.2}$$

Donde σ_1 y σ_3 representan a los esfuerzos efectivos principales mayor y menor, respectivamente, en la condición de falla, m_b es el valor de la constante m de Hoek-Brown para el macizo rocoso, s y a son constantes que dependen de las características del macizo rocoso y σ_{ci} es la resistencia a la compresión simple uniaxial de roca intacta (Hoek & Brown, 1997).

El criterio generalizado propone un índice geológico de resistencia GSI, que toma en consideración la calidad del macizo rocoso en función del grado y las características de la fracturación, estructura geológica, tamaño de los

bloques y alteración de las discontinuidades. Para determinar los valores m , s y a del criterio se han definido ecuaciones matemáticas en función del GSI (González de Vallejo, 2002).

Obtención de parámetros de Mohr- Coulomb, utilizando Hoek-Brown

El criterio de rotura de Mohr-Coulomb es el más empleado debido a su simplicidad, este describe que la rotura se producirá cuando la tensión de corte τ , en el plano de rotura alcance un valor que dependa de la tensión normal σ_n que actúa sobre dicho plano. La **Ec.3** presenta la expresión matemática del modelo.

$$\tau = c + \sigma_n \tan(\varphi) \quad \text{Ec.3}$$

Donde:

τ : Es la tensión tangencial que actúa en el plano de rotura.

c : es la cohesión que representa la tensión cortante que puede ser resistida sin que haya ninguna tensión normal aplicada.

φ : Ángulo de fricción interna.

σ_n : Tensión Normal que actúa en el plano de rotura.

Los criterios de rotura de la mayoría de software geotécnicos están escritos en términos de criterio de rotura de Mohr-Coulomb, para lo cual es necesario

determinar los ángulos de fricción y las resistencias cohesivas para cada intervalo de esfuerzos.

Modelos matemáticos y de regresión lineal han buscado relacionar el criterio de Hoek-Brown con el criterio de Mohr-Coulomb, la gráfica de la **Figura. 2.5**, presenta la relación de los esfuerzos principales mayores y menores para el criterio de Hoek-Brown y el equivalente de Mohr-Coulomb, las ecuaciones matemáticas determinadas son empleadas por el software Roc Data de la casa Rocscience que considera el criterio de Hoek-Brown y GSI para determinar valores de ángulo de fricción interna y cohesión del macizo rocoso.

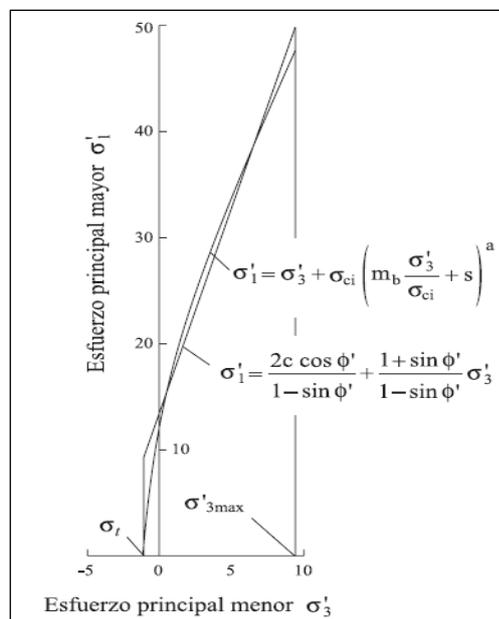


Figura. 4.5 Relación entre Criterio Hoek-Brown y Mohr-Coulomb.
Fuente: Hoek & Brown, 1997

CAPITULO 3

RESULTADOS

3.1 Valoración geomecánica RMR Bieniawski, 1989 de las galerías de explotación

3.1.1 Sector Bocamina

Descripción general de la geología del sector

- **Roca Encajante**

Según información levantada in situ se puede describir a la roca encajante del sector como andesita de tipo brechosa de carácter intermedio (tonalidades gris-oscuro), textura fanerítica (cristales entre 1-2 mm en la matriz asociados a minerales feldespáticos).

- **Mineralización**

De la misma manera en base a observación in situ se puede describir a la mena del sector que está comprendido mayoritariamente por cuarzo, acompañado por una serie de sulfuros metálicos y oro como mineral accesorio; además de la presencia de arcillas de grano medio a fino de alta plasticidad y muy baja compactación, dichas arcillas son producto de la meteorización y la posible fricción entre la caja baja y caja alta. A poca profundidad no se observa macroscópicamente la presencia de sulfuros ni cristales formados; a mayores profundidades, se puede evidenciar la presencia de los sulfuros y en algunos casos el oro en sus hábitos nativos.

➤ **GALERÍA NORTE-SUBNIVEL 1**

- **Identificación de Familias de Discontinuidades**

El registro de las discontinuidades de la galería de avance se llevó conforme detalla la hoja geomecánica del **Anexo VII**, en la cual se describe las características de las juntas que presenta el área estudiada.

La longitud de evaluación geomecánica de la galería es de aproximadamente 30 m.

Mediante la utilización del software DIPS se establecieron las principales familias de diaclasas de la galería, siendo estas: **J1: 224/40**, **J2: 036/49**, **J3: 263/71**, como se puede visualizar en **Figura. 3.1 y 3.2**.

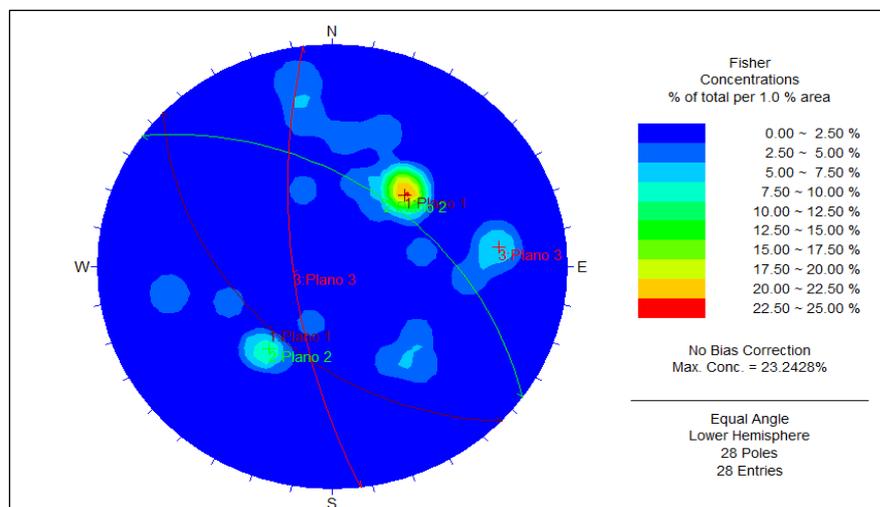


Figura. 3.1 Densidad de polos de las principales juntas determinadas en la galería Norte-Subnivel 1, sector Bocamina.

Fuente: Software Dips v 5.1.

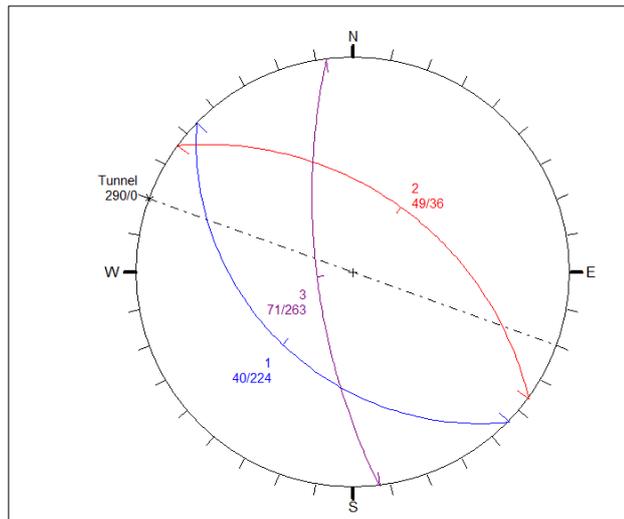


Figura. 3.2 Orientación de las familias de juntas para la galería Norte-Subnivel 1, sector Bocamina.

Fuente: Software Unwedge v. 3.0.

Tabla X Estructuras geológicas identificadas en la Galería Norte-Subnivel 1, sector Bocamina.

Estructuras Geológicas		
Dirección	Buzamiento	Tipo
224	48	Familia J1
36	49	Familia J2
263	71	Familia J3
30	46	Veta

Fuente: Gualacata, J., 2018.

- **Análisis RMR de las familias de discontinuidades.**

Familia J1: 224/48

Una vez definido las principales familias identificadas a lo largo del mapeo realizado en la galería, se procede a valorar los diferentes parámetros de clasificación geomecánica RMR (Bieniawski, 1989), a continuación, se presenta las características de la Familia J1:

1. **Resistencia a la Compresión Simple:** Según los resultados de ensayos de compresión simple se tiene un valor de resistencia de 120.0 MPa.
2. **RQD:** Considerando las fracturas por cada metro que se presenten en campo se utilizó el criterio de Hudson (Ec.1) para obtener una valoración siendo esta de 93-95%.
3. **Separación de las discontinuidades,** medido entre 20-60 cm.
4. **Estado de las discontinuidades**
 - a) La continuidad de las juntas se establece en un rango 1-3 m.
 - b) La abertura de las juntas varía en un rango de <0.1mm.
 - c) La rugosidad de las juntas se describe como Muy Rugosas.
 - d) Como relleno se presenta mineral de cuarzo y carbonatos < 5 mm de carácter duro.
 - e) Las paredes de las discontinuidades presentan alteraciones propias del filón mineralizante que encaja definiéndolo como Ligeramente Alterado.

5. **Agua Freática:** No se presenta problemas de agua en las paredes de las juntas, estableciéndolas como secas.

- **Valoración RMR Básico**

Con las características geomecánicas de cada parámetro se procede a dar la puntuación respectiva según (Bieniawski, 1989). La **Tabla XI** presenta la puntuación final del RMR Básico para la familia J1.

Tabla XI Valoración RMR Básico Familia J1:224/48,
(Galería Norte-Subnivel 1, sector Bocamina).

RMR Básico	
Resistencia a la compresión simple	7
RQD	15
Separación de discontinuidades	15
Estado de discontinuidades	23
Agua Freática	15
TOTAL	75

Fuente: Gualacata, J., 2018.

- **Valoración RMR Modificado**

En base al mapeo detallado de las juntas a lo largo de la galería se puede identificar la ubicación específica de la familia de discontinuidades J1 y valorar la condición en la que se presentan de acuerdo con la dirección de buzamiento de la labor (290°); la **Tabla XII** presenta un resumen de la

condición de las juntas y el factor de corrección respectivo que debe aplicarse al RMR Básico definido anteriormente.

Tabla XII Corrección por Orientación de juntas, Familia J1 (Galería Norte Subnivel 1, sector Bocamina).

Avance		T	Dir. de Buz	Buz	Dir. Eje. Gal	Posición ref. a la Dir. Galería	Consideración	Factor de Corrección
0+000	0+001	J	220	48	290	Paralela a la galería	Muy desfavorable	-12
0+000	0+001	J	230	48	290	Paralela a la galería	Muy desfavorable	-12
0+004	0+005	J	230	45	290	Paralela a la galería	Medio	-5
0+005	0+006	J	220	50	290	Paralela a la galería	Muy desfavorable	-12
0+006	0+007	J	224	50	290	Paralela a la galería	Muy desfavorable	-12
0+006	0+007	J	222	54	290	Paralela a la galería	Muy desfavorable	-12
0+007	0+008	J	220	50	290	Paralela a la galería	Muy desfavorable	-12
0+016	0+017	J	220	60	290	Paralela a la galería	Muy desfavorable	-12

Fuente: Gualacata, J., 2018.

Según la **Tabla XII** se evidencia que la mayor parte de las discontinuidades que forman la familia J1 tienen condición “**Muy Desfavorable**” en relación con la dirección del eje de la galería, por lo tanto, se aplica un factor de corrección al RMR Básico de **-12**, teniendo por lo tanto un valor final **RMR=63**.

Familia J2: 036/49

1. **Resistencia a la Compresión Simple:** Según los resultados de ensayos de compresión simple se tiene un valor de resistencia de 120.0 MPa.
2. **RQD:** Considerando las fracturas por cada metro que se presenten en campo se utilizó el criterio de Hudson (Ec.1) para obtener una valoración siendo ésta de 93-95%.
3. **Separación de las discontinuidades,** medido entre 20-60 cm.
4. **Estado de las discontinuidades**
 - a) La continuidad de las juntas se establece en un rango 1-3 m.
 - b) La abertura de las juntas varía en un rango de <0.1mm.
 - c) La rugosidad de las juntas se describe como Muy Rugosas.
 - d) Como relleno se presenta mineral de cuarzo y carbonatos < 5 mm de carácter duro.
 - e) Las paredes de las discontinuidades presentan alteraciones propias del filón mineralizante que encaja definiéndolo como Ligeramente Alterado.
 - f) No se presenta problemas de agua en las paredes de las juntas, estableciéndolas como secas.

- **Valoración RMR Básico**

Con las características geomecánicas de cada parámetro se procede a dar la puntuación respectiva según (Bieniawski, 1989). La **Tabla XIII** presenta la puntuación final del RMR Básico para la familia J2.

Tabla XIII Valoración RMR Básico familia J2:036/49 (Galería Norte-Subnivel 1, sector Bocamina).

RMR Básico	
Resistencia a la compresión simple	5
RQD	15
Separación de discontinuidades	15
Estado de discontinuidades	24
Agua Freática	15
TOTAL	74

Fuente: Gualacata, J., 2018.

- **Valoración RMR Modificado**

En base al mapeo detallado de las juntas a lo largo de la galería se puede identificar la ubicación específica de la familia de discontinuidades J2 y valorar la condición en la que se presentan de acuerdo con la dirección de buzamiento de la labor (290°); la **Tabla XIV** presenta un resumen de la condición de las juntas y el factor de corrección respectivo que debe aplicarse al RMR Básico definido anteriormente.

Tabla XIV Corrección por Orientación de juntas, Familia J2:036/49 (Galería Norte-Subnivel 1, sector Bocamina).

Avance		T	Dir de Buz	Buz	Dir. Ej. Gal	Posición ref. a la Dir. Galería	Consideración	Factor de Corrección
0+005	0+006	J	40	50	290	Paralela a la galería	Muy desfavorable	-12

0+006	0+007	J	30	50	290	Paralela a la galería	Muy desfavorable	-12
0+008	0+009	J	40	52	290	Paralela a la galería	Muy desfavorable	-12
0+025	0+026	J	35	47	290	Paralela a la galería	Muy desfavorable	-12
0+026	0+027	J	30	45	290	Paralela a la galería	Medio	-5
0+029	0+030	J	28	46	290	Paralela a la galería	Muy desfavorable	-12

Fuente: Gualacata, J., 2018.

Según la **Tabla XIV**, se evidencia que la mayor parte de las discontinuidades que forman la familia J2 tienen condición “**Muy Desfavorable**” en relación con la dirección del eje de la galería de avance por lo que se aplica un factor de corrección al RMR Básico de **-12**, teniendo por lo tanto un valor estimado **RMR=62**.

Familia J3: 263/71

- 1. Resistencia a la Compresión Simple:** Según los resultados de ensayos de compresión simple se tiene un valor de resistencia de 120.0 MPa.
- 2. RQD:** Considerando las fracturas por cada metro que se presenten en campo se utilizó el criterio de Hudson (Ec.1) para obtener una valoración siendo esta de 93-95%.
- 3. Separación de las discontinuidades,** medido entre 20-60 cm.
- 4. Estado de las discontinuidades**

- a) La continuidad de las juntas se establece en un rango 1-3 m.
- b) La abertura de las juntas varía en un rango de 0.1-1mm.
- c) La rugosidad de las juntas se describe como Muy Rugosas-Ligeramente Rugosa.
- d) Como relleno se presenta mineral de cuarzo y carbonatos < 5 mm de carácter duro.
- e) Las paredes de las discontinuidades presentan alteraciones propias del filón mineralizante que encaja definiéndolo como Ligeramente Alterado.

5. Agua Freática: No se presenta problemas de agua en las paredes de las juntas, estableciéndolas como secas.

- **Valoración RMR Básico**

Con las características geomecánicas de cada parámetro se procede a dar la puntuación respectiva según (Bieniawski, 1989). La **Tabla XV**, presenta la puntuación final (RMR Básico) para la familia J3.

Tabla XV Valoración RMR Básico familia J3:263/71 (Galería Norte-Subnivel 1, sector Bocamina).

RMR Básico	
Resistencia a la compresión simple	4
RQD	15

Separación de discontinuidades	10
Estado de discontinuidades	19
Agua Freática	15
TOTAL	63

Fuente: Gualacata, J., 2018.

- **Valoración RMR Modificado**

En base al mapeo detallado de las juntas a lo largo de la galería se puede identificar la ubicación específica de la familia de discontinuidades J3 y valorar la condición en la que se presentan de acuerdo con la dirección de buzamiento de la labor (290°); la **Tabla XVI** presenta un resumen de la condición de las juntas y el factor de corrección respectivo que debe aplicarse al RMR Básico definido anteriormente.

Tabla XVI Corrección por Orientación de discontinuidades familia J3:263/71, (Galería Norte-Subnivel 1, sector Bocamina).

Fuente: Gualacata, J., 2018.

Avance		T	Dir. De Buz	Buz	Dir. Ej. Gal	Posición ref. a la Dir. Galería	Consideración	Factor de Corrección
0+002	0+003	J	275	60	290	Perpendicular a la galería	Muy favorable	0
0+002	0+003	J	260	70	290	Perpendicular a la galería	Muy favorable	0
0+003	0+004	J	260	68	290	Perpendicular a la galería	Muy favorable	0
0+005	0+006	J	265	70	290	Perpendicular a la galería	Muy favorable	0

Según la **Tabla XVI** se evidencia que la mayor parte de las discontinuidades que forman la familia J3 tienen condición muy desfavorable en relación con

la dirección del eje de la galería de avance por lo que se aplica un factor de corrección al RMR Básico de **0**, teniendo por lo tanto un valor estimado **RMR=63**.

Finalmente, la **Tabla XVII**, presenta los resultados de la puntuación RMR final obtenido para cada una de las juntas identificadas en la galería norte, subnivel 1, sector Bocamina. En base a los resultados se puede establecer que la calidad del macizo de la galería es de tipo **II-MEDIO**, con una puntuación media de **62-63**.

Tabla XVII RMR final de las familias de juntas pertenecientes a la Galería Norte Subnivel 1, sector Bocamina.

RMR FAMILIA DE JUNTAS GALERÍA NORTE-SUBNIVEL 1-BOCAMINA			
FAMILIA	RMR TOTAL	CALIDAD DEL MACIZO ROCOSO	CONDICION DE LA FAMILIA RESPECTO A LA DIRECCION DE LA GALERIA
J1:036/49	62	TIPO II-MEDIO	Muy Desfavorable
J2:224/48	63	TIPO II-MEDIO	Muy Desfavorable
J3:263/71	63	TIPO III-MEDIO	Muy Favorable
VALOR MEDIO GALERÍA	62-63	TIPO II-MEDIO	

Fuente: Gualacata, J., 2018.

➤ GALERÍA SUR-SUBNIVEL 1

- **Identificación de familias de Discontinuidades**

El registro de las discontinuidades de la galería de avance se llevó conforme detalla la hoja geomecánica del **Anexo IX**, en la cual se describe las características de las juntas que presente el área estudiada. La longitud de evaluación de la galería es de aproximadamente 30 m.

Mediante la utilización del software DIPS se establecieron las principales familias de diaclasas de la galería, siendo esta **J1: 210/39**, **J2: 034/34** y familia secundaria **J3: 351/65** como se puede visualizar en **Figura 3.3**.

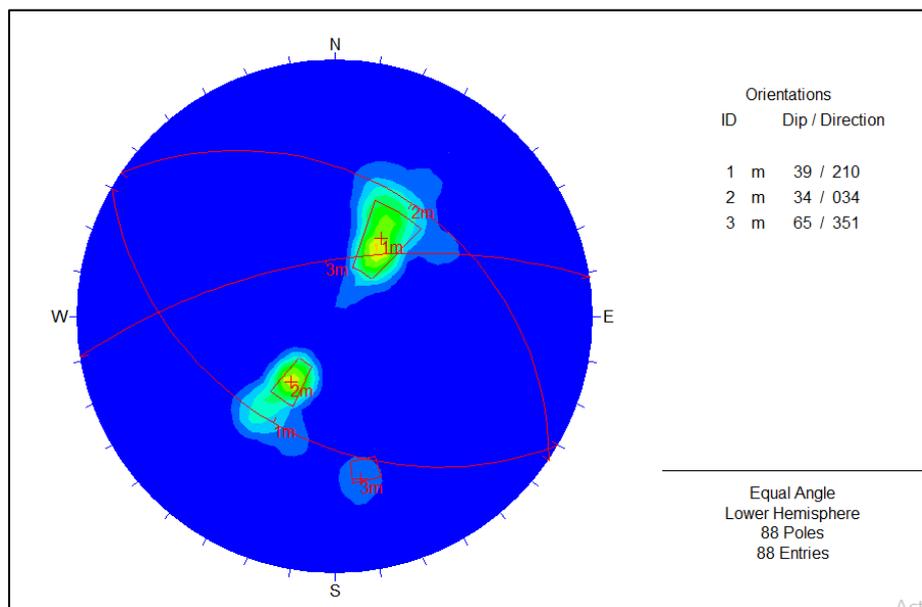


Figura. 3.3 Planos de las principales familias de juntas de la Galería Sur-Subnivel 1, sector Bocamina.

Fuente: Software Dips v 5.1.

Tabla XVIII Principales estructuras geológicas identificadas en la Galería Sur-Subnivel 1, sector Bocamina

Estructuras Geológicas Galería Sur-Subnivel 1, sector Bocamina.		
Dirección	Buzamiento	Tipo
034	34	Familia J1
210	39	Familia J2
351	65	Familia Aux J3

Fuente: Gualacata, J., 2018.

- **Análisis RMR de las familias de discontinuidades.**

Una vez definido las principales familias identificadas a lo largo del mapeo realizado en la galería se procede a valorar los diferentes parámetros de clasificación geomecánica RMR (Bieniawski, 1989), a continuación, se presenta las características de la Familia J1:

Familia J1: 034/34

- 1. Resistencia a la Compresión Simple:** Según los resultados de ensayos de compresión simple se tiene un valor de resistencia de 107.9 MPa.
- 2. RQD:** Considerando las fracturas por cada metro que se presenten en campo se utilizó el criterio de Hudson (**Ec.1**), así se obtuvo una valoración siendo esta de 85-93%.
- 3. Separación de las discontinuidades,** medido entre 20-60 cm.

4. Estado de las discontinuidades

- a. La continuidad de las juntas se establece en un rango 1-3 m.
- b. La abertura de las Juntas varía en un rango de 0.1-1mm.
- c. La rugosidad de las juntas se describe de Rugosas a Ligeramente Rugosas.
- d. Como relleno se presenta mineral de cuarzo, feldespatos y carbonatos < 5 mm de carácter blando.
- e. Las paredes de las discontinuidades presentan alteraciones propias del filón mineralizante que rodea; definiéndolo como Moderadamente Alterado.

5. Agua Freática: Las paredes de las juntas se presentan húmedas a lo largo de excavación.

- **Valoración RMR Básico**

Con las características geomecánicas de cada parámetro se procede a dar la puntuación respectiva según (Bieniawski, 1989). La **Tabla XIX**, presenta la puntuación final del RMR Básico para la familia J1.

Tabla XIX Valoración RMR Básico familia J1: 034/34 Galería Sur-Subnivel1, sector Bocamina.

RMR Básico	
Resistencia a la compresión simple	4
RQD	16
Separación de discontinuidades	15
Estado de discontinuidades	16
Agua Freática	10
TOTAL	62

Fuente: Gualacata, J., 2018.

- **Valoración RMR Modificado**

En base al mapeo detallado de las juntas a lo largo de la galería se puede identificar la ubicación específica de la familia de discontinuidades J1 y evaluar la condición en la que se presentan de acuerdo con la dirección de buzamiento de la labor (130°); la **Tabla XX**, presenta un resumen de la condición de las juntas y el factor de corrección respectivo que debe aplicarse al RMR Básico definido anteriormente.

Tabla XX Corrección por Orientación de juntas familia J1: 034/34 Galería Sur-Subnivel 1, sector Bocamina.

Avance		T	Dir. De Buz	Buz	Dir. Ej. Gal	Posición ref. a la Dir. Galería	Consideración	Factor de Corrección
0+006	0+007	J	35	50	130	Paralela a la galería	Muy desfavorable	-12
0+007	0+008	J	30	30	130	Paralela a la galería	Medio	-5

0+010	0+011	J	35	38	130	Paralela a la galería	Medio	-5
0+013	0+014	J	35	38	130	Paralela a la galería	Medio	-5
0+014	0+015	J	38	30	130	Paralela a la galería	Medio	-5
0+015	0+016	J	35	35	130	Paralela a la galería	Medio	-5
0+018	0+019	J	32	50	130	Paralela a la galería	Muy desfavorable	-12
0+018	0+019	J	30	32	130	Paralela a la galería	Medio	-5
0+019	0+020	J	30	32	130	Paralela a la galería	Medio	-5
0+020	0+021	J	34	35	131	Paralela a la galería	Medio	-5
0+025	0+026	J	33	30	137	Paralela a la galería	Medio	-5
0+028	0+029	J	33	30	140	Paralela a la galería	Medio	-5

Fuente: Gualacata, J., 2018.

Según la **Tabla XX**, se evidencia que la mayor parte de las discontinuidades que forman la familia J1 tienen condición de **Medio** a **Muy desfavorable** en relación con la dirección del eje de la galería de avance, teniendo unos factores de corrección de **-5 y -12**; por lo tanto, entonces se puede establecer un valor de RMR que se encuentre entre **50-57**.

Familia J2: 210/39

1. **Resistencia a la Compresión Simple:** Según los resultados de ensayos de compresión simple se tiene un valor de resistencia de 107.9 MPa.
2. **RQD:** Considerando las fracturas por cada metro que se presenten en campo se utilizó el criterio de Hudson (**Ec.1**) para obtener una valoración siendo esta de 84-93%.
3. **Separación de las discontinuidades,** medido entre 20-60 cm y en ciertos tramos se tiene separaciones de hasta 90 cm.
4. **Estado de las discontinuidades**
 - a) La continuidad de las juntas se establece en un rango 3-10 m.
 - b) La abertura de las juntas varía en un rango de 1-5mm.
 - c) La rugosidad de las juntas se describe de Rugosas a Ligeramente Rugosas.
 - d) Como relleno se presenta mineral de cuarzo y carbonatos, con una abertura de < 5 mm de carácter blando.
 - e) Las paredes de las discontinuidades presentan alteraciones significativas en ciertos tramos, estableciéndolas como Ligeramente Alterado.
5. **Agua Freática:** Las paredes de las juntas presentan en ciertos tramos problemas con agua, definiéndolas como Ligeramente Húmedas.

- **Valoración RMR Básico**

Con las características geomecánicas de cada parámetro se procede a dar la puntuación respectiva según (Bieniawski, 1989). La **Tabla XXI**, presenta la puntuación final del RMR Básico para la familia J2.

Tabla XXI Valoración RMR Básico familia J2:
210/39 Galería Sur-Subnivel1, sector Bocamina.

RMR Básico	
Resistencia a la compresión simple	4
RQD	17
Separación de discontinuidades	13
Estado de discontinuidades	15
Agua Freática	10
TOTAL	59

Fuente: Gualacata, J., 2018.

- **Valoración RMR Modificado**

En base al mapeo detallado de las juntas a lo largo de la galería se puede identificar la ubicación específica de la familia de discontinuidades J1 y evaluar la condición en la que se presentan de acuerdo con la dirección de buzamiento de la labor (130°); la **Tabla XXII**, presenta un resumen de la condición de las juntas y el factor de corrección respectivo que debe aplicarse al RMR Básico definido anteriormente.

Tabla XXII Corrección por Orientación de juntas familia J2: 210/39 Galería Sur-Subnivel 1, sector Bocamina.

Avance		T	Dir.	Buz	Dir. Ej. Gal	Posición ref. a la Dir. Galería	Criterio	Factor de Corrección
0+000	0+001	J	222	48	130	Paralela a la galería	Muy desfavorable	-12
0+000	0+001	J	210	30	130	Paralela a la galería	Medio	-5
0+002	0+003	J	215	80	130	Paralela a la galería	Muy desfavorable	-12
0+003	0+004	J	215	52	130	Paralela a la galería	Muy desfavorable	-12
0+003	0+004	J	210	62	130	Paralela a la galería	Muy desfavorable	-12
0+004	0+005	J	216	40	130	Paralela a la galería	Medio	-5
0+004	0+005	J	210	50	130	Paralela a la galería	Muy desfavorable	-12
0+005	0+006	J	210	36	130	Paralela a la galería	Medio	-5
0+005	0+006	J	215	70	130	Paralela a la galería	Muy desfavorable	-12
0+006	0+007	J	205	30	130	Paralela a la galería	Medio	-5
0+007	0+008	J	215	35	130	Paralela a la galería	Medio	-5
0+007	0+008	J	210	30	130	Paralela a la galería	Medio	-5
0+008	0+009	J	210	10	130	Paralela a la galería	Muy Desfavorable	-12
0+008	0+009	J	205	45	130	Paralela a la galería	Medio	-5
0+009	0+010	J	210	32	130	Paralela a la galería	Medio	-5
0+009	0+010	J	215	30	130	Paralela a la galería	Medio	-5
0+010	0+011	J	210	30	130	Paralela a la galería	Medio	-5
0+011	0+012	J	205	40	130	Paralela a la galería	Medio	-5
0+012	0+013	J	210	40	130	Paralela a la galería	Medio	-5
0+014	0+015	J	205	50	130	Paralela a la galería	Muy desfavorable	-12
0+015	0+016	J	210	20	130	Paralela a la galería	Muy Desfavorable	-12
0+016	0+017	J	210	35	130	Paralela a la galería	Medio	-5
0+018	0+019	J	210	20	130	Paralela a la galería	Muy Desfavorable	-12

0+018	0+019	J	205	45	130	Paralela a la galería	Medio	-5
0+020	0+021	J	205	52	132	Paralela a la galería	Muy desfavorable	-12
0+026	0+027	J	210	50	138	Paralela a la galería	Muy desfavorable	-12

Fuente: Gualacata, J., 2018.

Según la **Tabla XXII** se evidencia que la mayor parte de las discontinuidades que forman la familia J2 tienen condición de Medio a Muy desfavorable en comparación con la dirección del eje de la galería de avance, teniendo unos factores de corrección de **-5 y -12**; por lo tanto, entonces se puede establecer un valor de RMR que se encuentre entre **54-47**.

Finalmente, la **Tabla XXIII**, presenta los resultados de la puntuación RMR final obtenido para cada una de las juntas principales identificadas en la galería sur-subnivel 1, sector Bocamina. En base a los resultados se puede establecer que la calidad del macizo de la galería es de tipo **III-REGULAR**, con una puntuación media de **49-56**.

Tabla XXIII RMR final de las familias de juntas pertenecientes a la Galería Norte Subnivel 1, sector Bocamina.

RMR FAMILIA DE JUNTAS GALERÍA SUR-SUBNIVEL 1-BOCAMINA			
FAMILIA	RMR TOTAL	CALIDAD DEL MACIZO ROCOSO	CONDICION DE LA FAMILIA RESPECTO A LA DIRECCION DE LA GALERIA
J1:034/34	50-57	TIPO III-REGULAR	Medio- Muy Desfavorable

J2:210/39	47-54	TIPO III- REGULAR	Medio- Muy Desfavorable
VALOR MEDIO GALERÍA	49-56	TIPO III-REGULAR	

Fuente: Gualacata, J., 2018.

➤ GALERÍA NORTE-SUBNIVEL 2

- **Identificación de familias de Discontinuidades**

El registro de las discontinuidades de la galería de avance se llevó conforme detalla la hoja geomecánica del **Anexo XI**, en la cual se describe las características de las juntas que presente el área estudiada. La longitud de evaluación de la galería es de aproximadamente 40 m.

Mediante la utilización del software DIPS se establecieron las principales familias de diaclasas de la galería, siendo esta **J1: 031/42, J2: 112/78 y J3: 078/78** como se puede visualizar en Figura 3.4.

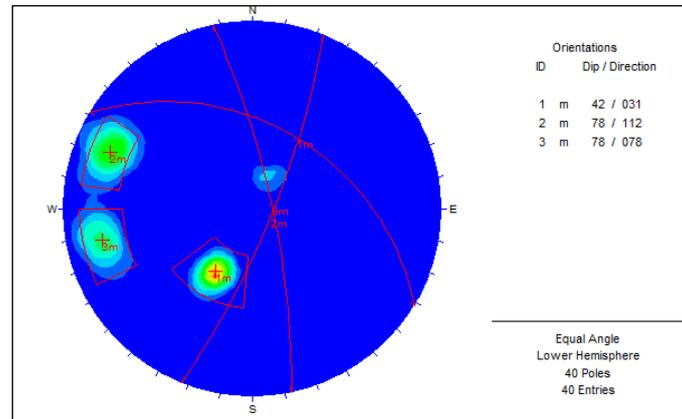


Figura. 3.4 Principales familias de juntas, Galería Norte-Subnivel 2, sector Bocamina
Fuente: Software Dips v 5.1.

Tabla XXIV Principales estructuras geológicas identificadas en la galería norte-subnivel 2, sector Bocamina

Principales Estructuras Galería Norte-Subnivel 2, Bocamina.		
Dirección	Buzamiento	Tipo
031	42	Familia J1
078	78	Familia J2
112	78	Familia J3

Fuente: Gualacata, J., 2018.

- **Análisis RMR de las familias de discontinuidades.**

Una vez definido las principales familias identificadas a lo largo del mapeo realizado en la galería se procede a valorar los diferentes parámetros de clasificación geomecánica RMR (Bieniawski, 1989), a continuación, se presenta las características de la Familia J1:

Familia J1: 031/42

1. **Resistencia a la Compresión Simple:** Según los resultados de ensayos de compresión simple se tiene un valor de resistencia de 120.0 MPa.
2. **RQD:** Considerando las fracturas por cada metro que se presenten en campo se utilizó el criterio de Hudson (Ec.1) para obtener una valoración siendo esta de 84-90%.
3. **Separación de las discontinuidades,** medido entre 20-6 cm.
4. **Estado de las discontinuidades**
 - a) La continuidad de las juntas se establece en un rango 1-3 m.
 - b) La abertura de las Juntas varía en un rango de 0.1-1mm.
 - c) La rugosidad de las juntas se describe como Rugosas.
 - d) Como relleno se presenta mineral de cuarzo, feldespatos, óxidos en ciertos tramos y las brechas que son característicos de este sector, el espesor es < 5 mm de carácter blando.
 - e) Las paredes de las discontinuidades presentan alteraciones propias del relleno, sin embargo, no es muy evidente por lo cual se puede valorizar como Ligeramente Alterado.
5. **Agua Freática:** A lo largo del mapeo se puede evidenciar paredes de discontinuidades Ligeramente Húmedas.

- **Valoración RMR Básico**

Con las características geomecánicas de cada parámetro se procede a dar la puntuación respectiva según (Bieniawski, 1989). La **Tabla XXV** presenta la puntuación final del RMR Básico para la familia J1.

Tabla XXV Valoración RMR Básico familia J1:031/42, Galería Norte-Subnivel 2-Bocamina

RMR Básico	
Resistencia a la compresión simple	7
RQD	17
Separación de discontinuidades	19
Estado de discontinuidades	20
Agua Freática	8
TOTAL	71

Fuente: Gualacata, J., 2018.

- **Valoración RMR Modificado**

En base al mapeo detallado de las juntas a lo largo de la galería se puede identificar la ubicación específica de la familia de discontinuidades J1 y evaluar la condición en la que se presentan de acuerdo con la dirección de buzamiento de la labor (310°); la **Tabla XXVI** presenta un resumen de la condición de las juntas y el factor de corrección respectivo que debe aplicarse al RMR Básico definido anteriormente, según (Bieniawski, 1989).

Tabla XXVI Corrección por Orientación de juntas familia J1:031/42 para la Galería Norte-Subnivel2, sector Bocamina.

Avance		T	Dir. De Buz.	Buz	Dir. Eje Galería	Condición	Criterio	Factor de Corrección.
0+000	0+001	J	25	44	310	Paralela a la galería	Medio	-5
0+002	0+003	J	30	50	310	Paralela a la galería	Muy desfavorable	-12
0+003	0+004	J	30	50	310	Paralela a la galería	Muy desfavorable	-12
0+003	0+004	J	35	50	310	Paralela a la galería	Muy desfavorable	-12
0+004	0+005	J	25	42	310	Paralela a la galería	Medio	-5
0+004	0+005	J	30	40	310	Paralela a la galería	Medio	-5
0+006	0+007	J	25	40	310	Paralela a la galería	Medio	-5
0+009	0+010	J	25	40	310	Paralela a la galería	Medio	-5
0+012	0+013	J	35	45	310	Paralela a la galería	Medio	-5
0+017	0+018	J	36	42	310	Paralela a la galería	Medio	-5
0+020	0+021	J	30	40	310	Paralela a la galería	Medio	-5
0+024	0+025	J	34	45	310	Paralela a la galería	Medio	-5
0+028	0+030	J	37	30	310	Paralela a la galería	Medio	-5
0+028	0+030	J	32	38	310	Paralela a la galería	Medio	-5

Fuente: Gualacata, J., 2018.

Según la **Tabla XXVI**, se evidencia que la mayor parte de las discontinuidades que forman la familia J1 tienen condición de **Medio** y en un tramo de 2 metros presenta una condición **Muy Desfavorable** en relación con la dirección del eje de la galería de avance, teniendo unos factores de corrección de **-5 y -12**; por lo tanto, se puede establecer un valor de RMR que se encuentre entre **60-67**.

Familia J2: 078/78

1. **Resistencia a la Compresión Simple:** Según los resultados de ensayos de compresión simple se tiene un valor de resistencia de 120.0 MPa.
2. **RQD:** Considerando las fracturas por cada metro que se presenten en campo se utilizó el criterio de Hudson **(Ec.1)** para obtener una valoración siendo esta de 80-90%.
3. **Separación de las discontinuidades,** medido entre 20-6 cm.
4. **Estado de las discontinuidades**
 - a. La continuidad de las juntas se establece en un rango 1-3 m.
 - b. La abertura de las Juntas varía en un rango de 0.1-1mm.
 - c. La rugosidad de las juntas se describe como Rugosas.
 - d. Como relleno se presenta mineral de cuarzo, feldespatos, óxidos en ciertos tramos y las brechas que son característicos de este sector, el espesor es < 5 mm de carácter blando.
 - e. Las paredes de las discontinuidades presentan alteraciones propias del relleno, sin embargo, no es muy evidente por lo cual se puede valorizar como Ligeramente Alterado.
5. **Agua Freática:** A lo largo del mapeo se puede evidenciar paredes de discontinuidades Ligeramente Húmedas.

- **Valoración RMR Básico**

Con las características geomecánicas de cada parámetro se procede a dar la puntuación respectiva según (Bieniawski, 1989). La **Tabla XXVII**, presenta la puntuación final del RMR Básico para la familia J2.

Tabla XXVII Valoración RMR Básico familia J2:078/78 perteneciente a la Galería Norte-Subnivel 2, sector Bocamina.

RMR Básico	
Resistencia a la compresión simple	7
RQD	17
Separación de discontinuidades	20
Estado de discontinuidades	19
Agua Freática	8
TOTAL	71

Fuente: Gualacata, J., 2018.

- **Valoración RMR Modificado**

En base al mapeo detallado de las juntas a lo largo de la galería se puede identificar la ubicación específica de la familia de discontinuidades J2 y evaluar la condición en la que se presentan de acuerdo a la dirección de buzamiento de la labor (310°); la **Tabla XXVIII**, presenta un resumen de la condición de las juntas y el factor de corrección respectivo que debe aplicarse al RMR Básico definido anteriormente, según (Bieniawski, 1989).

Tabla XXVIII Corrección por Orientación de juntas familia J2:078/78, Galería Norte-Subnivel 2, sector Bocamina.

Avance		T	Dir. De Buz	Buz	Dir. Eje Galería	Condición	Criterio	Factor de Corrección
0+000	0+001	J	82	42	310	Paralela a la galería	Medio	-5
0+004	0+005	J	85	82	310	Paralela a la galería	Muy desfavorable	-12
0+005	0+006	J	80	78	310	Paralela a la galería	Muy desfavorable	-12
0+010	0+011	J	70	76	310	Paralela a la galería	Muy desfavorable	-12
0+011	0+012	J	82	77	310	Paralela a la galería	Muy desfavorable	-12
0+011	0+012	J	70	76	310	Paralela a la galería	Muy desfavorable	-12
0+012	0+013	J	76	80	310	Paralela a la galería	Muy desfavorable	-12
0+016	0+017	J	80	79	310	Paralela a la galería	Muy desfavorable	-12

Fuente: Gualacata, J., 2018.

Según la **Tabla XXVIII**, se evidencia que la mayor parte de las discontinuidades que forman la familia J2 tienen condición **Muy Desfavorable** en relación con la dirección del eje de la galería de avance, teniendo un factor de corrección de **-12**; por lo tanto, se puede establecer un valor de **RMR 59**.

Familia J3: 112/78

1. **Resistencia a la Compresión Simple:** Según los resultados de ensayos de compresión simple se tiene un valor de resistencia de 120.0 MPa.
2. **RQD:** Considerando las fracturas por cada metro que se presenten en campo se utilizó el criterio de Hudson (Ec.1) para obtener una valoración siendo esta de 80-90%.
3. **Separación de las discontinuidades,** medido entre 20-6 cm.
4. **Estado de las discontinuidades**
 - a. La continuidad de las juntas se establece en un rango 1-3 m.
 - b. La abertura de las Juntas varía en un rango de 0.1-1mm.
 - c. La rugosidad de las juntas se describe como Rugosas.
 - d. Como relleno se presenta mineral de cuarzo, feldespatos, óxidos en ciertos tramos y las brechas que son característicos de este sector, el espesor es < 5 mm de carácter blando.
 - e. Las paredes de las discontinuidades presentan alteraciones propias del relleno, sin embargo, no es muy evidente por lo cual se puede valorizar como Ligeramente Alterado- Moderadamente.
5. **Agua Freática:** A lo largo del mapeo se puede evidenciar paredes de discontinuidades con características Húmedas.

- **Valoración RMR Básico**

Con las características geomecánicas de cada parámetro se procede a dar la puntuación respectiva según (Bieniawski, 1989). La **Tabla XXIX**, presenta la puntuación final del RMR Básico para la familia J3.

Tabla XXIX Valoración RMR Básico familia J3:112/78, Galería Norte-Subnivel 2-Bocamina

RMR Básico	
Resistencia a la compresión simple	7
RQD	17
Separación de discontinuidades	19
Estado de discontinuidades	18
Agua Freática	9
TOTAL	70

Fuente: Gualacata, J., 2018.

- **Valoración RMR Modificado**

En base al mapeo detallado de las juntas a lo largo de la galería se puede identificar la ubicación específica de la familia de discontinuidades J3 y evaluar la condición en la que se presentan de acuerdo con la dirección de buzamiento de la labor (310°); la **Tabla XXX**, presenta un resumen de la condición de las juntas y el factor de corrección respectivo que debe aplicarse al RMR Básico definido anteriormente, según (Bieniawski, 1989).

Tabla XXX Corrección por Orientación de juntas familia J3: 112/78, Galería Norte-Subnivel 2-Bocamina

Avance		T	Dir.	Buz	Dir. Eje Galería	Condición	Criterio	Factor de Corrección
0+000	0+001	J	105	80	310	Perpendicular a la galería	Muy favorable	0
0+002	0+003	J	115	70	310	Perpendicular a la galería	Muy favorable	0
0+008	0+009	J	110	76	310	Perpendicular a la galería	Muy favorable	0
0+009	0+010	J	100	80	310	Perpendicular a la galería	Muy favorable	0
0+011	0+012	J	113	76	310	Perpendicular a la galería	Muy favorable	0
0+014	0+015	J	115	80	310	Perpendicular a la galería	Muy favorable	0
0+017	0+018	J	115	80	310	Perpendicular a la galería	Muy favorable	0
0+019	0+020	J	115	80	310	Perpendicular a la galería	Muy favorable	0
0+021	0+022	J	110	78	310	Perpendicular a la galería	Muy favorable	0

Fuente: Gualacata, J., 2018.

Según la **Tabla XXX** se evidencia que la mayor parte de las discontinuidades que forman la familia J3 tienen condición **Muy Desfavorable** en relación con la dirección del eje de la galería de avance, teniendo un factor de corrección de **-12**; por lo tanto, se puede establecer un valor de **RMR 58**.

Finalmente, la **Tabla XXXI**, presenta los resultados de la puntuación RMR final obtenido para cada una de las juntas principales identificadas en la galería norte-subnivel 2, sector Bocamina. En base a los resultados se puede establecer que la calidad del macizo de la galería es de tipo **II-BUENA**, con una puntuación media de **58-63**.

Tabla XXXI RMR final de las familias de juntas pertenecientes a la Galería Norte Subnivel 2, sector Bocamina.

RMR FAMILIA DE JUNTAS GALERÍA SUR-SUBNIVEL 2-BOCAMINA			
FAMILIA	RMR TOTAL	CALIDAD DEL MACIZO ROCOSO	CONDICION DE LA FAMILIA RESPECTO A LA DIRECCION DE LA GALERIA
J1:031/42	60-67	TIPO II-MEDIO	Medio
J2:078/78	59	TIPO III-REGULAR	Muy Desfavorable
J3:112/78	58	TIPO III-REGULAR	Muy Desfavorable
VALOR MEDIO GALERÍA	58-63	TIPO II-BUENA	

Fuente: Gualacata, J., 2018.

➤ **GALERÍA SUR-SUBNIVEL 2**

- **Identificación de familias de Discontinuidades**

El registro de las discontinuidades de la galería de avance se llevó conforme detalla la hoja geomecánica del **Anexo XIII**, en la cual se describe las características de las juntas que presente el área estudiada. La longitud de evaluación de la galería es de aproximadamente 40 m.

Mediante la utilización del software DIPS se estableció la principal familia de diaclasas de la galería, siendo esta **J1: 209/45**, como se puede visualizar en

Figura. 3.5.

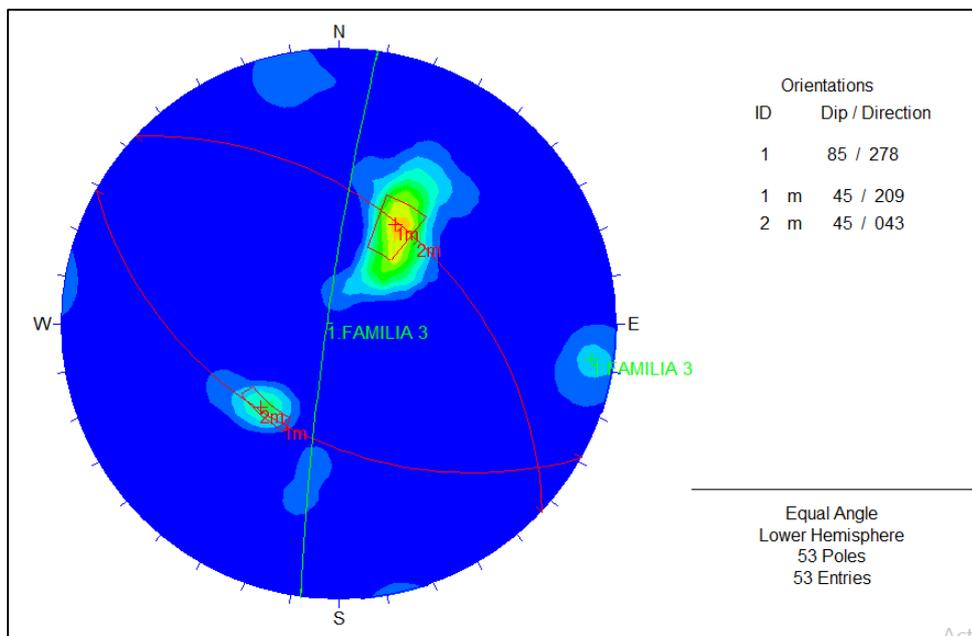


Figura. 3.5 Principales familias de juntas para Galería Sur-Subnivel 2, sector Bocamina.

Fuente: Software Dips v 5.1.

Tabla XXXII Principales Familias de Juntas identificadas en la galería sur subnivel 2, sector Bocamina.

Principales Estructuras Galería Sur-Subnivel 2-Bocamina		
Dirección	Buzamiento	Tipo
209	45	Familia J1
278	85	Familia J2 Aux.
043	45	Familia J3 Aux.

Fuente: Gualacata, J., 2018.

- **Análisis RMR de las familias de discontinuidades.**

Una vez definido las principales familias identificadas a lo largo del mapeo realizado en la galería se procede a valorar los diferentes parámetros de clasificación geomecánica RMR (Bieniawski, 1989), a continuación, se presenta las características de la Familia J1.

Familia J1: 209/45

- 1. Resistencia a la Compresión Simple:** Según los resultados de ensayos de compresión simple se tiene un valor de resistencia de 89.83 MPa.
- 2. RQD:** Considerando las fracturas por cada metro que se presenten en campo se utilizó el criterio de Hudson (Ec.1) para obtener una valoración siendo esta de 90-95%.
- 3. Separación de las discontinuidades,** medido entre 20-60 cm.
- 4. Estado de las discontinuidades**
 - a. La continuidad de las juntas se establece en un rango 1-3 m.
 - b. La abertura de las Juntas varía en un rango de 0.1-1mm.
 - c. La rugosidad de las juntas se describe como Ligeramente Rugosas.

- d. Como relleno se presenta mineral de cuarzo, feldspatos con presencia en ciertos tramos de clorita, el espesor es < 5 mm de carácter blando.
- e. Las paredes de las discontinuidades presentan alteraciones propias del relleno, por lo que se considera valorizar como Moderadamente Alterado.

5. Agua Freática: A lo largo del mapeo se puede evidenciar paredes con cierta humedad (Ligeramente Húmedas).

- **Valoración RMR Básico**

Con las características geomecánicas de cada parámetro se procede a dar la puntuación respectiva según (Bieniawski, 1989). La **Tabla XXXIII**, presenta la puntuación final del RMR Básico para la familia J1.

Tabla XXXIII Valoración RMR Básico familia J1:209/45 para la galería sur-subnivel 2, sector Bocamina.

RMR Básico	
Resistencia a la compresión simple	3
RQD	15
Separación de discontinuidades	13
Estado de discontinuidades	18
Agua Freática	12
TOTAL	61

Fuente: Gualacata, J., 2018.

- **Valoración RMR Modificado**

En base al mapeo detallado de las juntas a lo largo de la galería se puede identificar la ubicación específica de la familia de discontinuidades J1 y evaluar la condición en la que se presentan de acuerdo con la dirección de buzamiento de la labor (130°); la **Tabla XXXIV**, presenta un resumen de la condición de las juntas y el factor de corrección respectivo que debe aplicarse al RMR Básico definido anteriormente, según (Bieniawski, 1989).

Tabla XXXIV Corrección por Orientación de juntas familia J1:209/45, Galería Sur-Subnivel 2, sector Bocamina.

Avance		T	Dir.	Buz	Dir. Eje Galería	Condición	Criterio	Factor de Corrección
0+003	0+004	J	210	32	130	Paralela a la galería	Medio	-5
0+004	0+005	J	215	22	130	Paralela a la galería	Medio	-5
0+004	0+005	J	220	30	130	Paralela a la galería	Medio	-5
0+005	0+006	J	210	25	130	Paralela a la galería	Medio	-5
0+006	0+007	J	215	20	130	Paralela a la galería	Muy Desfavorable	-12
0+007	0+008	J	210	40	130	Paralela a la galería	Medio	-5
0+008	0+009	J	210	50	130	Paralela a la galería	Muy desfavorable	-12
0+008	0+009	J	200	60	130	Paralela a la galería	Muy desfavorable	-12
0+009	0+010	J	208	72	130	Paralela a la galería	Muy desfavorable	-12
0+009	0+010	J	210	45	130	Paralela a la galería	Medio	-5
0+009	0+010	J	205	46	130	Paralela a la galería	Muy desfavorable	-12

0+010	0+011	J	195	50	130	Paralela a la galería	Muy desfavorable	-12
0+010	0+011	J	210	45	130	Paralela a la galería	Medio	-5
0+010	0+011	J	205	52	130	Paralela a la galería	Muy desfavorable	-12
0+011	0+012	J	210	62	130	Paralela a la galería	Muy desfavorable	-12
0+013	0+014	J	215	32	130	Paralela a la galería	Medio	-5
0+014	0+015	J	212	40	130	Paralela a la galería	Medio	-5
0+015	0+016	J	210	50	130	Paralela a la galería	Muy desfavorable	-12
0+016	0+017	J	220	60	130	Paralela a la galería	Muy desfavorable	-12
0+017	0+018	J	210	60	130	Paralela a la galería	Muy desfavorable	-12
0+017	0+018	J	210	50	130	Paralela a la galería	Muy desfavorable	-12
0+018	0+019	J	210	56	130	Paralela a la galería	Muy desfavorable	-12
0+018	0+019	J	220	42	130	Paralela a la galería	Medio	-5

Fuente: Gualacata, J., 2018.

Según la **Tabla XXXIV**, se evidencia que la mayor parte de las discontinuidades que forman la familia J1 tienen condición de **Medio** a **Muy Desfavorable** en con relación al eje de la galería de avance, por lo tanto, se tiene unos factores de corrección de **-5 y -12**, así, se puede establecer un valor de RMR que se encuentre en el rango de **49-56**.

Finalmente, la **Tabla XXXV**, presenta los resultados de la puntuación RMR final obtenido para la principal familia de juntas identificada en la galería sur-

subnivel 2, sector Bocamina. En base a los resultados se puede establecer que la calidad del macizo de la galería es de tipo **III-REGULAR**, con una puntuación media de **49-56**.

Tabla XXXV RMR final de la familia de juntas perteneciente a la Galería Sur Subnivel 2, sector Bocamina.

RMR FAMILIA DE JUNTAS GALERÍA SUR-SUBNIVEL 2-BOCAMINA			
FAMILIA	RMR TOTAL	CALIDAD DEL MACIZO ROCOSO	CONDICIÓN DE LA FAMILIA RESPECTO A LA DIRECCIÓN DE LA GALERÍA
J1:209/45	49-56	TIPO III-REGULAR	Medio- Muy Desfavorable
VALOR MEDIO GALERÍA	49-56	TIPO III-REGULAR	

Fuente: Gualacata, J., 2018.

3.1.2 Galerías Sector Vetilla 1-Subnivel 3

Descripción general de la geología del sector

- **Roca Encajante**

Según observación in situ se puede describir a la roca de caja de las galerías como una Andesita Basáltica de coloración verdosa oscura, se estima densidades altas por ser pesadas. Presenta brillo vítreo, además presenta

filos cortantes con un leve grado de magnetismo, su textura característica afanítica.

- **Mineralización**

La mineralización está plenamente diferenciada de la roca estéril, hay una alta presencia de sulfuros comprendidos por calcopirita, arsenopirita, pirita y tectosilicatos (cuarzo); en bajas concentraciones se presenta minerales de clorita, epidota y oro como mineral accesorio en estado ocluido. La mineralización del sector es de alta compactación debido a la profundidad y la carga litostática.

➤ **GALERÍA NORTE-SUBNIVEL 3**

- **Identificación de familias de Discontinuidades**

El registro de las discontinuidades de la galería de avance se llevó conforme detalla la hoja geomecánica del **Anexo XVII**, en la cual se describe las características de las juntas que presente el área estudiada. La longitud de evaluación de la galería es de aproximadamente 40 m.

Mediante la utilización del software DIPS se estableció las principales familias de juntas de la galería, siendo estas **J1: 068/37** y **J2: 332/ 54**,

además el filón mineralizado **080/40**, en la **Figura. 3.6**, se puede visualizar las familias identificadas.

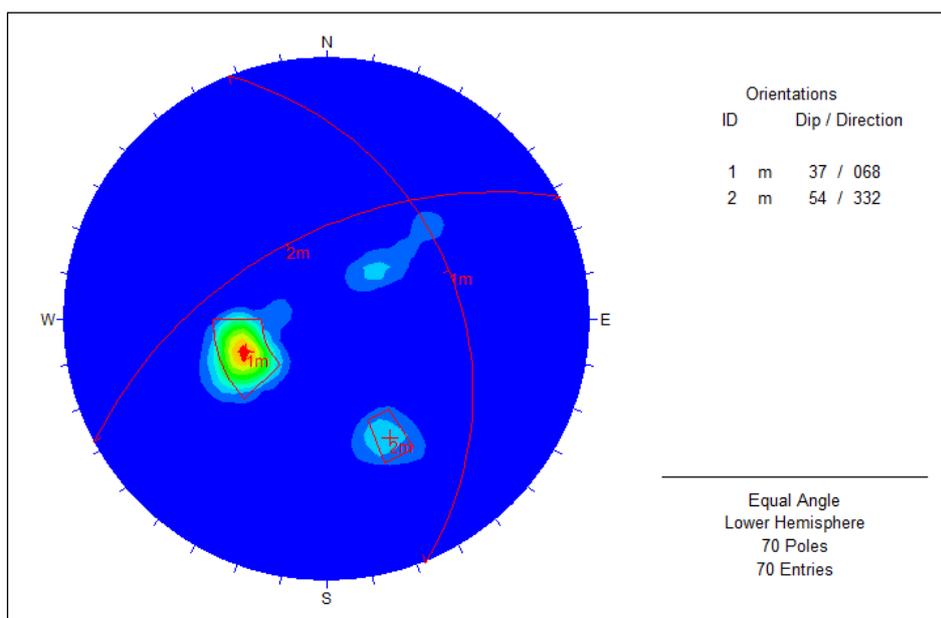


Figura. 3.6 Principales familias de juntas identificadas en la Galería Norte-Subnivel 3, sector Vetilla 1.

Fuente: Software Dips v 5.1.

Tabla XXXVI Principales Familias de Juntas identificadas en la Galería Norte-Subnivel 3, sector Vetilla 1.

Principales Estructuras Galería Norte-Subnivel 3- Vetilla 1.		
Dirección	Buzamiento	Tipo
068	37	Familia J1
332	54	Familia J2

Fuente: Gualacata, J., 2018.

- **Análisis RMR de las familias de discontinuidades.**

Una vez definido las principales familias identificadas a lo largo del mapeo realizado en la galería se procede a valorar los diferentes parámetros de clasificación geomecánica RMR (Bieniawski, 1989), a continuación, se presenta las características de la Familia J1.

Familia J1: 068/37

- 1. Resistencia a la Compresión Simple:** Según los resultados de ensayos de compresión simple se tiene un valor de resistencia de 279 MPa.
- 2. RQD:** Considerando las fracturas por cada metro que se presenten en campo se utilizó el criterio de Hudson (Ec.1) para obtener una valoración siendo esta de 86-95%.
- 3. Separación de las discontinuidades,** medido entre 20-60 cm.
- 4. Estado de las discontinuidades**
 - a. La continuidad de las juntas se establece en un rango 1-3 m y ciertas discontinuidades llegan hasta 4 m de longitud.
 - b. La abertura de las Juntas es de $> 0.1\text{mm}$ (poco visibles).
 - c. La rugosidad de las juntas se describe como Rugosas.

- d. Como relleno se presenta mineral de cuarzo con presencia en la mayoría de los tramos de clorita con espesores < 5 mm de carácter blando.
- e. Las paredes de las discontinuidades se consideran como Moderadamente Alterado.

5. Agua Freática: No se observa humedad a lo largo del mapeo (paredes secas).

- **Valoración RMR Básico**

Con las características geomecánicas de cada parámetro se procede a dar la puntuación respectiva según (Bieniawski, 1989). La **Tabla XXXVII** presenta la puntuación final del RMR Básico para la familia J1.

Tabla XXXVII Valoración RMR Básico familia J1:210/44, perteneciente a la Galería Norte Subnivel 3, sector Vetilla 1.

RMR Básico	
Resistencia a la compresión simple	7
RQD	17
Separación de discontinuidades	8
Estado de discontinuidades	17
Agua Freática	15
TOTAL	64

Fuente: Gualacata, J., 2018.

- **Valoración RMR Modificado**

En base al mapeo detallado de las juntas a lo largo de la galería se puede identificar la ubicación específica de la familia de discontinuidades J1 y evaluar la condición en la que se presentan de acuerdo con la dirección de buzamiento de la labor (345°); la **Tabla XXXVIII**, presenta un resumen de la condición de las juntas y el factor de corrección respectivo que debe aplicarse al RMR Básico definido anteriormente, según (Bieniawski, 1989).

Tabla XXXVIII Corrección por Orientación de juntas familia J1:068/37, perteneciente a la galería Norte-Subnivel 3, sector Vetilla 1.

Avance		T	Dir. De Buz.	Buz	Dir. Eje Galería	Condición	Criterio	Factor de Corrección
0+000	0+001	J	80	38	345	Paralela a la galería	Medio	-5
0+000	0+001	J	80	32	345	Paralela a la galería	Medio	-5
0+000	0+001	J	75	40	345	Paralela a la galería	Medio	-5
0+002	0+003	J	75	40	345	Paralela a la galería	Medio	-5
0+002	0+003	J	82	40	345	Paralela a la galería	Medio	-5
0+002	0+003	J	85	36	345	Paralela a la galería	Medio	-5
0+003	0+004	J	82	40	345	Paralela a la galería	Medio	-5
0+003	0+004	J	85	36	345	Paralela a la galería	Medio	-5
0+004	0+005	J	60	40	345	Paralela a la galería	Medio	-5
0+004	0+005	J	80	38	345	Paralela a la galería	Medio	-5
0+005	0+006	J	85	36	345	Paralela a la galería	Medio	-5
0+005	0+006	J	80	40	345	Paralela a la galería	Medio	-5
0+005	0+006	J	70	35	345	Paralela a la galería	Medio	-5

0+007	0+008	J	60	40	345	Paralela a la galería	Medio	-5
0+007	0+008	J	70	35	345	Paralela a la galería	Medio	-5
0+012	0+013	J	73	40	345	Paralela a la galería	Medio	-5
0+016	0+017	J	55	35	345	Paralela a la galería	Medio	-5
0+018	0+019	J	57	38	345	Paralela a la galería	Medio	-5
0+026	0+027	J	60	41	345	Paralela a la galería	Medio	-5
0+026	0+027	J	70	40	345	Paralela a la galería	Medio	-5
0+028	0+029	J	58	38	345	Paralela a la galería	Medio	-5
0+028	0+029	J	59	34	345	Paralela a la galería	Medio	-5
0+030	0+031	J	70	42	345	Paralela a la galería	Medio	-5
0+031	0+032	J	71	43	345	Paralela a la galería	Medio	-5
0+033	0+034	J	61	38	345	Paralela a la galería	Medio	-5
0+035	0+036	J	58	33	345	Paralela a la galería	Medio	-5
0+036	0+037	J	71	34	345	Paralela a la galería	Medio	-5
0+036	0+037	J	60	43	345	Paralela a la galería	Medio	-5
0+039	0+040	J	62	35	345	Paralela a la galería	Medio	-5

Fuente: Gualacata, J., 2018.

Según la **Tabla XXXVIII**, se evidencia que la mayor parte de las discontinuidades que forman la familia J1 tienen condición Medio en con relación a la dirección del eje de la galería, por lo tanto, se tiene un factor de corrección de -5, estableciendo un valor **RMR de 59**.

Familia J2: 332/54

1. **Resistencia a la Compresión Simple:** Según los resultados de ensayos de compresión simple se tiene un valor de resistencia de 279 MPa.
2. **RQD:** Considerando las fracturas por cada metro que se presenten en campo se utilizó el criterio de Hudson (Ec.1) para obtener una valoración siendo esta de 90-94%.
3. **Separación de las discontinuidades,** medido entre 20-60 cm.
4. **Estado de las discontinuidades**
 - a. La continuidad de las juntas se establece en un rango 1-3 m.
 - b. La abertura de las Juntas es de $> 0.1\text{mm}$.
 - c. La rugosidad de las juntas se describe como Rugosas.
 - d. Como relleno se presenta alta concentración de mineral de cuarzo y clorita con espesores $< 5\text{ mm}$ de carácter blando.
 - e. Las paredes de las discontinuidades se consideran como Moderadamente Alterado.
5. **Agua Freática:** No se observa humedad a lo largo del mapeo (paredes secas).

- **Valoración RMR Básico**

Con las características geomecánicas de cada parámetro se procede a dar la puntuación respectiva según (Bieniawski, 1989). La **Tabla XXXIX**, presenta la puntuación final del RMR Básico para la familia J2.

Tabla XXXIX Valoración RMR Básico familia J2:332/54, Galería Norte-Subnivel 3, sector Vetilla 1.

RMR Básico	
Resistencia a la compresión simple	7
RQD	15
Separación de discontinuidades	8
Estado de discontinuidades	19
Agua Freática	15
TOTAL	64

Fuente: Gualacata, J., 2018.

- **Valoración RMR Modificado**

En base al mapeo detallado de las juntas a lo largo de la galería se puede identificar la ubicación específica de la familia de discontinuidades J2 y evaluar la condición en la que se presentan de acuerdo con la dirección de buzamiento de la labor (345°); la **Tabla XL**, presenta un resumen de la condición de las juntas y el factor de corrección respectivo que debe aplicarse al RMR Básico definido anteriormente, según (Bieniawski, 1989).

Tabla XL Corrección por Orientación de juntas familia J2:332/54, galería Norte, subnivel 3, sector Vetilla 1.

Avance	T	Dir.	Buz	Dir. Eje Galería	Condición	Criterio	Factor de Corrección
0+005	0+006	J	330	49	345	75	Perpendicular a la galería Muy favorable
0+006	0+007	J	325	50	345	70	Perpendicular a la galería Muy favorable

0+012	0+013	J	335	48	345	80	Perpendicular a la galería	Muy favorable
0+014	0+015	J	334	53	345	79	Perpendicular a la galería	Muy favorable
0+022	0+023	J	340	52	345	85	Perpendicular a la galería	Muy favorable
0+033	0+034	J	340	52	345	85	Perpendicular a la galería	Muy favorable

Fuente: Gualacata, J., 2018.

Según la **Tabla XL** se evidencia que la mayor parte de las discontinuidades que forman la familia J2 tienen condición **Muy Favorable** en con relación a la dirección del eje de la galería, por lo tanto, se tiene un factor de corrección de **0**, estableciendo un valor RMR de **64**.

Finalmente, la **Tabla XLI**, presenta los resultados de la puntuación RMR final obtenido para las principales familias de juntas identificadas en la galería norte-subnivel 3, sector Vetilla 1. En base a los resultados se puede establecer que la calidad del macizo de la galería es de tipo **II-BUENA**, con una puntuación media de **59-64**.

Tabla XLI RMR final de la familia de juntas perteneciente a la galería norte subnivel 3, sector Vetilla 1.

RMR FAMILIA DE JUNTAS GALERÍA NORTE-SUBNIVEL 3-VETILLA 1			
FAMILIA	RMR TOTAL	CALIDAD DEL MACIZO ROCOSO	CONDICIÓN DE LA FAMILIA RESPECTO A LA DIRECCIÓN DE LA GALERÍA
J1:068/37	59	TIPO III-REGULAR	Medio

J2:332/54	64	TIPO II-BUENA	Muy Favorable
VALOR MEDIO GALERÍA	59-64	TIPO II-BUENA	

Fuente: Gualacata, J., 2018.

➤ GALERÍA SUR-SUBNIVEL 3

- **Identificación de familias de Discontinuidades**

El registro de las discontinuidades de la galería de avance se llevó conforme detalla la hoja geomecánica del **Anexo XIX**, en la cual se describe las características de las juntas presentes el área estudiada. L

La longitud de evaluación de la galería es de aproximadamente 40 m.

Mediante la utilización del software DIPS se estableció la principal familia de juntas de la galería, siendo esta **J1: 077/50**, así también se presenta una familia secundaria **J2: 175/49** y el filón mineralizado **75/40**, en la **Figura. 3.7** se puede visualizar las familias J1 y J2 identificadas.

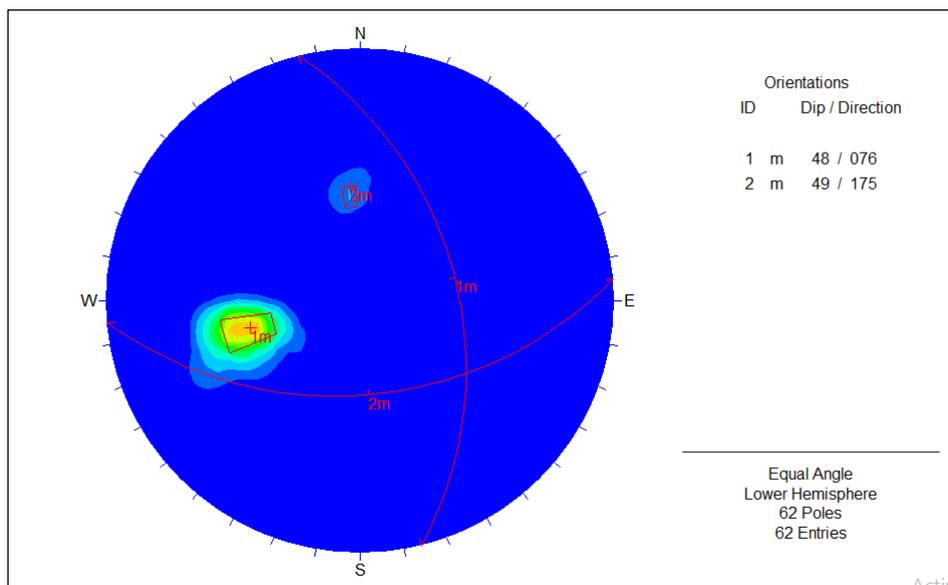


Figura. 3.7 Principales familias de juntas identificadas en la Galería Sur Subnivel 3, sector Vetilla 1.

Fuente: Software Dips v 5.1

Tabla XLII Principales Familias de Juntas identificadas en la Galería Sur-Subnivel 3, sector Vetilla 1.

Principales Estructuras Galería Sur-Subnivel 3-Vetilla 1		
Dirección	Buzamiento	Tipo
077	50	Familia J1
175	49	Familia Aux J2

Fuente: Gualacata, J., 2018.

- **Análisis RMR de las familias de discontinuidades.**

Una vez definido las principales familias identificadas a lo largo del mapeo realizado en la galería se procede a valorar los diferentes parámetros de

clasificación geomecánica RMR (Bieniawski, 1989), a continuación, se presenta las características de la Familia J1.

Familia J1: 077/50

- 1. Resistencia a la Compresión Simple:** Según los resultados de ensayos de compresión simple se tiene un valor de resistencia de 282.5 MPa.
- 2. RQD:** Considerando las fracturas por cada metro que se presenten en campo se utilizó el criterio de Hudson (Ec.1) para obtener una valoración siendo esta de 80-93%.
- 3. Separación de las discontinuidades,** medido entre 20-60 cm.
- 4. Estado de las discontinuidades**
 - a. La continuidad de las juntas se establece en un rango 1-3 m.
 - b. La abertura de las Juntas es de 0.1-1 mm.
 - c. La rugosidad de las juntas se describe como Rugosas.
 - d. Como relleno se presenta alta concentración de mineral cuarzo con espesores < 5 mm de carácter blando.
 - e. Las paredes de las discontinuidades se consideran como Moderadamente Alterado y Ligeramente alteradas.

5. Agua Freática: No se observa humedad a lo largo del mapeo (paredes secas).

- **Valoración RMR Básico**

Con las características geomecánicas de cada parámetro se procede a dar la puntuación respectiva según (Bieniawski, 1989). La **Tabla XLIII** presenta la puntuación final del RMR Básico para la familia J1.

Tabla XLIII Valoración RMR Básico familia J1:077/50, Galería Sur-Subnivel 3, sector Vetilla 1.

RMR Básico	
Resistencia a la compresión simple	7
RQD	17
Separación de discontinuidades	10
Estado de discontinuidades	21
Agua Freática	15
TOTAL	70

Fuente: Gualacata, J., 2018.

- **Valoración RMR Modificado**

En base al mapeo detallado de las juntas a lo largo de la galería se puede identificar la ubicación específica de la familia de discontinuidades J1 y

evaluar la condición en la que se presentan de acuerdo con la dirección de buzamiento de la labor (139°); la **Tabla XLIV** presenta un resumen de la condición de las juntas y el factor de corrección respectivo que debe aplicarse al RMR Básico definido anteriormente, según (Bieniawski, 1989).

Tabla XLIV Corrección por Orientación de juntas familia J1:077/50, Galería Sur-Subnivel 3, sector Vetilla 1.

Avance		T	Dir.	Buz	Dir. Eje Galería	Condición	Criterio	Factor de Corrección.
0+001	0+002	J	65	58	139	Paralela a la galería	Muy desfavorable	-12
0+002	0+003	J	70	48	139	Paralela a la galería	Muy desfavorable	-12
0+001	0+003	J	75	60	139	Paralela a la galería	Muy desfavorable	-12
0+003	0+004	J	75	40	139	Paralela a la galería	Medio	-5
0+004	0+005	J	80	52	139	Paralela a la galería	Muy desfavorable	-12
0+004	0+005	J	75	50	139	Paralela a la galería	Muy desfavorable	-12
0+004	0+005	J	80	42	139	Paralela a la galería	Medio	-5
0+005	0+006	J	82	56	139	Paralela a la galería	Muy desfavorable	-12
0+005	0+006	J	70	40	139	Paralela a la galería	Medio	-5
0+005	0+006	J	74	40	139	Paralela a la galería	Medio	-5
0+006	0+007	J	76	52	139	Paralela a la galería	Muy desfavorable	-12
0+006	0+007	J	70	40	139	Paralela a la galería	Medio	-5
0+007	0+008	J	78	52	139	Paralela a la galería	Muy desfavorable	-12
0+007	0+008	J	74	50	139	Paralela a la galería	Muy desfavorable	-12
0+007	0+008	J	65	58	139	Paralela a la galería	Muy desfavorable	-12
0+008	0+009	J	78	50	139	Paralela a la galería	Muy desfavorable	-12
0+008	0+009	J	65	50	139	Paralela a la galería	Muy desfavorable	-12
0+009	0+010	J	78	50	139	Paralela a la galería	Muy desfavorable	-12

0+009	0+010	J	80	40	139	Paralela a la galería	Medio	-5
0+009	0+010	J	75	62	139	Paralela a la galería	Muy desfavorable	-12
0+011	0+012	J	82	48	139	Paralela a la galería	Muy desfavorable	-12
0+011	0+012	J	76	52	139	Paralela a la galería	Muy desfavorable	-12
0+013	0+014	J	72	57	139	Paralela a la galería	Muy desfavorable	-12
0+015	0+016	J	82	48	139	Paralela a la galería	Muy desfavorable	-12
0+016	0+017	J	77	45	139	Paralela a la galería	Medio	-5
0+016	0+017	J	69	45	139	Paralela a la galería	Medio	-5
0+018	0+019	J	69	50	139	Paralela a la galería	Muy desfavorable	-12
0+019	0+020	J	77	43	139	Paralela a la galería	Medio	-5
0+020	0+021	J	80	60	139	Paralela a la galería	Muy desfavorable	-12
0+020	0+021	J	77	49	139	Paralela a la galería	Muy desfavorable	-12
0+023	0+024	J	69	51	139	Paralela a la galería	Muy desfavorable	-12
0+025	0+026	J	69	62	139	Paralela a la galería	Muy desfavorable	-12
0+028	0+029	J	81	49	139	Paralela a la galería	Muy desfavorable	-12
0+028	0+029	J	80	60	139	Paralela a la galería	Muy desfavorable	-12
0+030	0+031	J	78	54	139	Paralela a la galería	Muy desfavorable	-12
0+031	0+032	J	80	60	139	Paralela a la galería	Muy desfavorable	-12
0+033	0+034	J	78	60	139	Paralela a la galería	Muy desfavorable	-12
0+036	0+037	J	80	60	139	Paralela a la galería	Muy desfavorable	-12

Fuente: Gualacata, J., 2018.

Según la **Tabla XLIV** se evidencia que la mayor parte de las discontinuidades que forman la familia J1 tienen condición de **Medio** a **Muy Desfavorable** en con relación a la dirección del eje de la galería, por lo tanto, se tiene un factor de corrección de -5 y -12, estableciendo un valor RMR de **58-65**.

Finalmente, la **Tabla XLV**, presenta los resultados de la puntuación RMR final obtenido para la principal familia de juntas identificada en la galería sur-subnivel 3, sector Vetilla 1. En base a los resultados se puede establecer que la calidad del macizo de la galería es de tipo **II-BUENA**, con una puntuación media de **58-65**.

Tabla XLV RMR final de la familia de juntas perteneciente a la Galería Sur Subnivel 3, sector Vetilla 1.

RMR FAMILIA DE JUNTAS GALERÍA SUR-SUBNIVEL 3-VETILLA 1			
FAMILIA	RMR TOTAL	CALIDAD DEL MACIZO ROCOSO	CONDICIÓN DE LA FAMILIA RESPECTO A LA DIRECCIÓN DE LA GALERÍA
J1:076/48	58-65	TIPO II-BUENA	Medio-Muy Desfavorable
VALOR MEDIO GALERÍA	58-65	TIPO II-BUENA	

Fuente: Gualacata, J., 2018.

3.1.3 Sector Nivel C

Descripción general de la geología del sector

- Roca Encajante

Andesita Basáltica de textura afanítica, de carácter masivo. Presenta un color verde en tonalidades claras propias de rocas intermedias; este tipo de roca estéril es la misma del sector Veta B y Frente 11 debido a la formación geológica donde se encuentra emplazado.

- **Mineralización**

La mineralización del sector denominada Veta Cruzada, es similar al sector Vetilla 1 debido a las proximidades en las que se encuentran, la diferencia característica este sector de los demás es la alta concentración de mineral pirrotina que posee acompañada de otros sulfuros como: calcopirita, arsenopirita, piritita.

➤ **GALERÍA NORTE VETA CRUZADA-NIVEL C**

- **Identificación de familias de Discontinuidades**

El registro de las discontinuidades de la galería de avance se llevó conforme detalla la hoja geomecánica del **Anexo XV**, en la cual se describe las características de las juntas que presente el área estudiada. La longitud de evaluación de la galería es de aproximadamente 40 m.

Mediante la utilización del software DIPS se establecieron las principales familias de diaclasas de la galería, siendo esta **J1: 056/27**, **J2: 325/76** como se puede visualizar en **Figura. 3.8**.

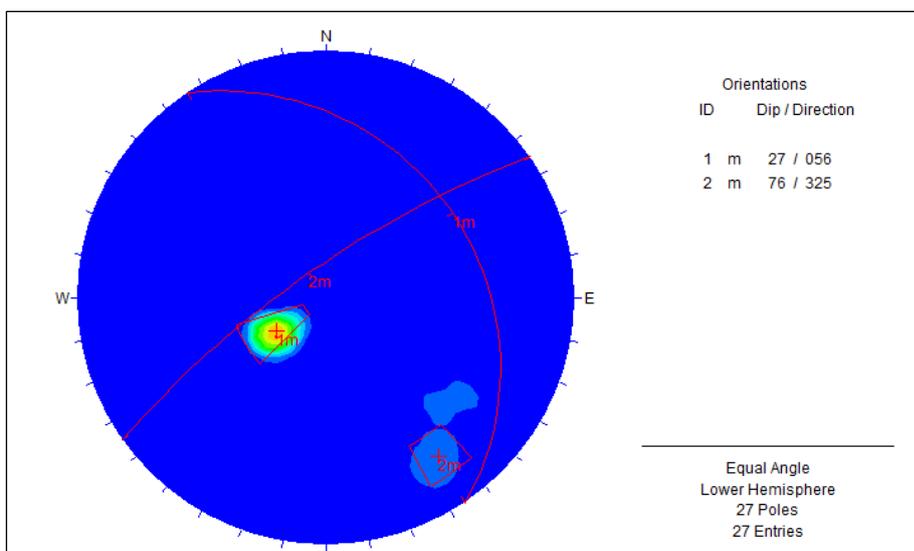


Figura. 3.8 Principales familias de juntas, Galería Veta Cruzada, sector Nivel C.

Fuente: Software Dips v 5.1

Tabla XLVI Principales estructuras geológicas identificadas en la galería Veta Cruzada, sector Nivel C.

Principales Estructuras Galería Veta Cruzada, sector Nivel C		
Dirección	Buzamiento	Tipo
056	27	Familia J1
325	76	Familia J2

Fuente: Gualacata, J., 2018.

- **Análisis RMR de las familias de discontinuidades.**

Una vez definido las principales familias identificadas a lo largo del mapeo realizado en la galería se procede a valorar los diferentes parámetros de clasificación geomecánica RMR (Bieniawski, 1989), a continuación, se presenta las características de la Familia J1:

Familia J1: 056/27

- 1. Resistencia a la Compresión Simple:** Según los resultados de ensayos de compresión simple se tiene un valor de resistencia de 143.8 MPa.
- 2. RQD:** Considerando las fracturas por cada metro que se presenten en campo se utilizó el criterio de Hudson (Ec.1) para obtener una valoración siendo esta de 90-96%.
- 3. Separación de las discontinuidades,** medido entre 20-60 cm.
- 4. Estado de las discontinuidades**
 - a. La continuidad de las juntas se establece en un rango 1-3 m y en ocasiones se presenta discontinuidades > 1 m.
 - b. La abertura de las Juntas varía en un rango de 0.1-1mm.
 - c. La rugosidad de las juntas se describe como Rugosas.

- d. Como relleno se presenta mineral de cuarzo, alta presencia de feldespatos y óxidos con espesor >5 mm de carácter blando.
- e. Las paredes de las discontinuidades presentan alteraciones propias del relleno, característicos los feldespatos y se lo puede establecer como Moderadamente alterado hasta Ligeramente alterado.

5. Agua Freática: A lo largo del mapeo se puede evidenciar paredes de discontinuidades sin humedad, teniendo paredes secas.

- **Valoración RMR Básico**

Con las características geomecánicas de cada parámetro se procede a dar la puntuación respectiva según (Bieniawski, 1989). La **Tabla XLVII** presenta la puntuación final del RMR Básico para la familia J1.

Tabla XLVII Valoración RMR Básico familia J1:056/27, galería veta cruzada, sector Nivel C.

RMR Básico	
Resistencia a la compresión simple	7
RQD	20
Separación de discontinuidades	8
Estado de discontinuidades	20
Agua Freática	15
TOTAL	70

Fuente: Gualacata, J., 2018.

- **Valoración RMR Modificado**

En base al mapeo detallado de las juntas a lo largo de la galería se puede identificar la ubicación específica de la familia de discontinuidades J1 y evaluar la condición en la que se presentan de acuerdo con la dirección de buzamiento de la labor (110°).

La **Tabla XLVIII**, presenta un resumen de la condición de las juntas y el factor de corrección respectivo que debe aplicarse al RMR Básico definido anteriormente, según (Bieniawski, 1989).

Tabla XLVIII Corrección por Orientación de juntas familia J1:056/27, Galería Veta Cruzada, sector Nivel C.

Avance		T	Dir .	Buz	Dir. Eje Galería	Condición	Criterio	Factor de Corrección
0+003	0+004	J	50	24	110	Paralela a la galería	Medio	-5
0+004	0+005	J	45	20	110	Paralela a la galería	Muy Desfavorable	-12
0+004	0+005	J	50	30	110	Paralela a la galería	Medio	-5
0+006	0+007	J	58	30	110	Paralela a la galería	Medio	-5
0+007	0+008	J	55	29	110	Paralela a la galería	Medio	-5
0+007	0+008	J	52	23	110	Paralela a la galería	Medio	-5
0+010	0+011	J	52	20	110	Paralela a la galería	Muy Desfavorable	-12
0+011	0+012	J	60	30	110	Paralela a la galería	Medio	-5
0+013	0+014	J	56	30	110	Paralela a la galería	Medio	-5
0+015	0+016	J	61	32	110	Paralela a la galería	Medio	-5

0+016	0+017	J	50	23	110	Paralela a la galería	Medio	-5
0+022	0+023	J	56	28	110	Paralela a la galería	Medio	-5
0+023	0+024	J	62	31	110	Paralela a la galería	Medio	-5
0+030	0+031	J	58	35	110	Paralela a la galería	Medio	-5
0+033	0+034	J	52	30	110	Paralela a la galería	Medio	-5
0+037	0+038	J	60	32	110	Paralela a la galería	Medio	-5
0+039	0+040	J	58	28	110	Paralela a la galería	Medio	-5

Fuente: Gualacata, J., 2018.

Según la **Tabla XLVIII**, se evidencia que la mayor parte de las discontinuidades que forman la familia J1 tienen condición de **Medio** en relación con la dirección del eje de la galería de avance, teniendo unos factores de corrección de **-5**; por lo tanto, se puede establecer un valor de RMR que se encuentre entre **65**.

Familia J2: 325/76

- 1. Resistencia a la Compresión Simple:** Según los resultados de ensayos de compresión simple se tiene un valor de resistencia de 143.8 MPa.
- 2. RQD:** Considerando las fracturas por cada metro que se presenten en campo se utilizó el criterio de Hudson (Ec.1) para obtener una valoración siendo esta de 90-94%.

3. Separación de las discontinuidades, medido entre 20-60 cm.

4. Estado de las discontinuidades

- a. La continuidad de las juntas se establece en un rango 1-3 m y en ocasiones se presenta discontinuidades > 1 m.
- b. La abertura en las juntas de esta familia se establece un valor de <0.1 mm.
- c. La rugosidad de las juntas se describe como Ligeramente Rugosas.
- d. Como relleno se presenta feldespatos, cuarzo y óxidos con espesor >5 mm de carácter blando.
- e. Las paredes de las discontinuidades presentan alteraciones propias del relleno, característicos los feldespatos y se lo puede establecer como Moderadamente alterado hasta Ligeramente alterado.

5. Agua Freática: A lo largo del mapeo se puede evidenciar paredes de discontinuidades sin humedad, teniendo paredes secas.

- **Valoración RMR Básico**

Con las características geomecánicas de cada parámetro se procede a dar la puntuación respectiva según (Bieniawski, 1989). La **Tabla XLIX**, presenta la puntuación final del RMR Básico para la familia J2.

Tabla XLIX Valoración RMR Básico familia J2:325/76, galería veta cruzada, sector Nivel C.

RMR Básico	
Resistencia a la compresión simple	7
RQD	20
Separación de discontinuidades	8
Estado de discontinuidades	22
Agua Freática	15
TOTAL	72

Fuente: Gualacata, J., 2018.

- **Valoración RMR Modificado**

En base al mapeo detallado de las juntas a lo largo de la galería se puede identificar la ubicación específica de la familia de discontinuidades J2 y evaluar la condición en la que se presentan de acuerdo con la dirección de buzamiento de la labor (110°).

La **Tabla L**, presenta un resumen de la condición de las juntas y el factor de corrección respectivo que debe aplicarse al RMR Básico definido anteriormente, según (Bieniawski, 1989).

Tabla L Corrección por Orientación de juntas familia J1:325/76, galería Veta cruzada, sector Nivel C.

Avance		T	Dir.	Buz	Dir. Eje Galería	Condición	Criterio	Factor de Corrección
0+000	0+001	J	320	74	110	Perpendicular a la galería	Muy favorable	0
0+000	0+001	J	321	72	110	Perpendicular a la galería	Muy favorable	0
0+008	0+009	J	325	76	110	Perpendicular a la galería	Muy favorable	0
0+017	0+018	J	325	76	110	Perpendicular a la galería	Muy favorable	0

Fuente: Gualacata, J., 2018.

Según la **Tabla L**, se evidencia que la mayor parte de las discontinuidades que forman la familia J2 tienen condición de **Muy Favorable** en relación con la dirección del eje de la galería de avance, teniendo unos factores de corrección de **0**; por lo tanto, se puede establecer un valor de RMR de **72**.

Finalmente, la **Tabla LI**, presenta los resultados de la puntuación RMR final obtenido para las principales familias de juntas identificadas en la galería veta cruzada, sector Nivel C. En base a los resultados se puede establecer que la calidad del macizo de la galería es de tipo **II-BUENA**, con una puntuación media de **65-72**.

Tabla LI RMR final de la familia de juntas perteneciente a la Galería Veta Cruzada, sector Nivel C.

RMR FAMILIA DE JUNTAS GALERÍA VETA CRUZADA-NIVEL C

FAMILIA	RMR TOTAL	CALIDAD DEL MACIZO ROCOSO	CONDICIÓN DE LA FAMILIA RESPECTO A LA DIRECCIÓN DE LA GALERÍA
J1:076/48	65	TIPO II-BUENA	Medio
J2:325/76	72	TIPO II-BUENA	Muy Favorable
VALOR MEDIO GALERÍA	65-72	TIPO II-BUENA	

Fuente: Gualacata, J., 2018.

3.1.4 Sector Veta B

Descripción general de la geología del sector

- **Mineralización**

La mineralización del sector se caracteriza por la presencia sulfuros tales como: calcopirita, pirrotina y pirita, además presenta minerales de cuarzo y feldespatos. La característica principal es la no presencia de arsenopirita.

➤ **GALERÍA VETA B**

- **Identificación de Familias de Discontinuidades**

El registro de las discontinuidades de la galería de avance se llevó conforme detalla la hoja geomecánica del **Anexo XXI**, en la cual se describe las

características de las juntas que presente el área estudiada. La longitud de evaluación de la galería es de aproximadamente 40 m.

Mediante la utilización del software DIPS se establecieron las principales familias de diaclasas de la galería, siendo esta **J1: 71/44** y **J2: 337/70** como se puede visualizar en **Figura. 3.9**.

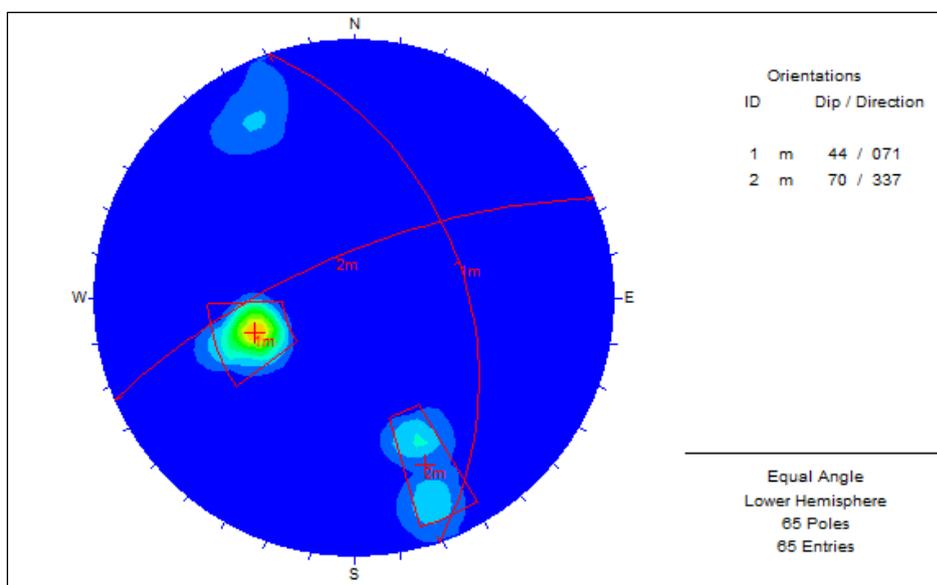


Figura. 3.9 Familia de discontinuidades identificadas en la Galería Veta B.

Fuente: Software Dips v 5.1

Tabla LII Principales Familias de Juntas identificadas en la Galería Veta B.

Principales Estructuras Veta B		
Dirección	Buzamiento	Tipo
071	44	Familia J1
337	70	Familia J2

Fuente: Gualacata, J., 2018.

- **Análisis RMR de las familias de discontinuidades.**

Una vez definido las principales familias identificadas a lo largo del mapeo realizado en la galería se procede a valorar los diferentes parámetros de clasificación geomecánica RMR (Bieniawski, 1989), a continuación, se presenta las características de la Familia J1.

Familia J1: 071/44

- 1. Resistencia a la Compresión Simple:** Según los resultados de ensayos de compresión simple se tiene un valor de resistencia de 179.7 MPa.
- 2. RQD:** Considerando las fracturas por cada metro que se presenten en campo se utilizó el criterio de Hudson (Ec.1) para obtener una valoración siendo esta de 55-75%.
- 3. Separación de las discontinuidades,** medido entre 20 cm-6 mm.
- 4. Estado de las discontinuidades**
 - a. La continuidad de las juntas se establece en un rango 1-3 m.
 - b. La abertura de las Juntas varía en un rango de 0.1-1 mm.
 - c. La rugosidad de las juntas se describe como Ligeramente Rugosas.

- d. Los rellenos de esta familia en general son minerales de cuarzo y clorita con ciertos grados oxidación, la mineralización se acompaña de abundante presencia de pirrotina.
- e. Las paredes de las discontinuidades presentan alteraciones propias del relleno, por lo que se considera valorizar como Moderadamente Alterado.

5. Agua Freática: La presencia de agua es notoria en ciertos sectores, por lo que se considera como Húmedo.

- **Valoración RMR Básico**

Con las características geomecánicas de cada parámetro se procede a dar la puntuación respectiva según (Bieniawski, 1989). La **Tabla LIII**, presenta la puntuación final del RMR Básico para la familia J1.

Tabla LIII Valoración RMR Básico familia J1:071/44, Galería Veta B.

RMR Básico	
Resistencia a la compresión simple	12
RQD	13
Separación de discontinuidades	7
Estado de discontinuidades	10
Agua Freática	7
TOTAL	49

Fuente: Gualacata, J., 2018.

- **Valoración RMR Modificado**

En base al mapeo detallado de las juntas a lo largo de la galería se puede identificar la ubicación específica de la familia de discontinuidades J1 y evaluar la condición en la que se presentan de acuerdo con la dirección de buzamiento del eje de la galería (350°); la **Tabla LIV**, presenta un resumen de la condición de las juntas que pertenecen a esta familia y el factor de corrección respectivo que debe aplicarse al RMR Básico definido anteriormente, según (Bieniawski, 1989).

Tabla LIV Corrección por Orientación de juntas familia J1:071/44, galería Veta B.

Avance	T	Dir de Buz	Buz	Dir. Eje Galería	Condición	Criterio	Factor de Corrección	
0+000	0+001	J	75	42	350	Paralela a la galería	Medio	-5
0+001	0+002	J	70	40	350	Paralela a la galería	Medio	-5
0+003	0+004	J	80	45	350	Paralela a la galería	Medio	-5
0+004	0+005	J	80	40	350	Paralela a la galería	Medio	-5
0+005	0+006	J	70	40	350	Paralela a la galería	Medio	-5
0+005	0+006	J	70	50	350	Paralela a la galería	Muy desfavorable	-12
0+005	0+006	J	70	55	350	Paralela a la galería	Muy desfavorable	-12
0+006	0+007	J	65	50	350	Paralela a la galería	Muy desfavorable	-12
0+007	0+008	J	70	55	350	Paralela a la galería	Muy desfavorable	-12
0+007	0+008	J	75	50	350	Paralela a la galería	Muy desfavorable	-12
0+008	0+009	J	65	50	350	Paralela a la galería	Muy desfavorable	-12
0+008	0+009	J	72	40	350	Paralela a la galería	Medio	-5

0+008	0+009	J	65	40	350	Paralela a la galería	Medio	-5
0+0011	0+0012	J	70	42	350	Paralela a la galería	Medio	-5
0+0012	0+0013	J	70	42	350	Paralela a la galería	Medio	-5
0+0013	0+0014	J	74	45	350	Paralela a la galería	Medio	-5
0+0015	0+0016	J	75	46	350	Paralela a la galería	Muy desfavorable	-12
0+0017	0+0018	J	76	43	350	Paralela a la galería	Medio	-5
0+0017	0+0018	J	75	46	350	Paralela a la galería	Muy desfavorable	-12
0+0018	0+0019	J	76	46	350	Paralela a la galería	Muy desfavorable	-12
0+0020	0+0021	J	63	40	350	Paralela a la galería	Medio	-5
0+0021	0+0022	J	62	45	350	Paralela a la galería	Medio	-5
0+0024	0+0025	J	75	40	350	Paralela a la galería	Medio	-5
0+0026	0+0027	J	74	45	350	Paralela a la galería	Medio	-5
0+0026	0+0027	J	76	42	350	Paralela a la galería	Medio	-5
0+0030	0+0031	J	73	42	350	Paralela a la galería	Medio	-5
0+0030	0+0031	J	65	40	350	Paralela a la galería	Medio	-5
0+0031	0+0032	J	72	38	350	Paralela a la galería	Medio	-5
0+0033	0+0034	J	68	45	350	Paralela a la galería	Medio	-5

Fuente: Gualacata, J., 2018.

Según la **Tabla LIV**, se evidencia que la mayor parte de las discontinuidades que forman la familia J1 tienen condición de **Medio** a **Muy Desfavorable** en con relación al eje de la galería de avance, por lo tanto, se tiene unos factores de corrección de **-5 y -12**, así, se puede establecer un valor de RMR que se encuentra en un rango de **37-44**.

Familia J2: 337/70

1. **Resistencia a la Compresión Simple:** Según los resultados de ensayos de compresión simple se tiene un valor de resistencia de 179.7 MPa.
2. **RQD:** Considerando las fracturas por cada metro que se presenten en campo se utilizó el criterio de Hudson (Ec.1) para obtener una valoración siendo esta de 84-90%.
3. **Separación de las discontinuidades,** medido entre 20-60 cm.
4. **Estado de las discontinuidades**
 - a. La continuidad de las juntas se establece en un rango 1-3 m.
 - b. La abertura de las Juntas varía en un rango de 0.1-1 mm.
 - c. La superficie de las juntas se describe como Rugosas no continuas.
 - d. Los rellenos de esta familia en general son de igual manera minerales de clorita y óxidos, la mineralización se compone de sulfuros (pirrotina y calcopirita).
 - e. Las paredes de las discontinuidades presentan zonas donde las paredes de las discontinuidades presentan alto grado de alteración.

5. Agua Freática: Presenta zonas con alta humedad, por lo que se considera como Húmedo.

- **Valoración RMR Básico**

Con las características geomecánicas de cada parámetro se procede a dar la puntuación respectiva según (Bieniawski, 1989). La **Tabla LV**, presenta la puntuación final del RMR Básico para la familia J2.

Tabla LV Valoración RMR Básico familia J2:337/70, Galería Veta B.

RMR Básico	
Resistencia a la compresión simple	12
RQD	13
Separación de discontinuidades	8
Estado de discontinuidades	13
Agua Freática	7
TOTAL	53

Fuente: Gualacata, J., 2018.

- **Valoración RMR Modificado**

En base al mapeo detallado de las juntas a lo largo de la galería se puede identificar la ubicación específica de la familia de discontinuidades J2 y evaluar la condición en la que se presentan de acuerdo con la dirección de buzamiento del eje de la galería (350°); la **Tabla LV**, presenta un resumen de la condición de las juntas que pertenecen a esta familia y el factor de corrección respectivo que debe aplicarse al RMR Básico definido anteriormente, según (Bieniawski, 1989).

Tabla LVI Corrección por Orientación de juntas familia J2:337/70, Galería Veta B.

Avance		T	Dir de Buz	Buz	Dir. Eje galería	Condición	Criterio	Factor de Corrección.
0+002	0+003	J	345	60	350	Perpendicular a la galería	Muy favorable	0
0+002	0+003	J	340	58	350	Perpendicular a la galería	Muy favorable	0
0+003	0+004	J	356	64	350	Perpendicular a la galería	Muy favorable	0
0+007	0+008	J	355	61	350	Perpendicular a la galería	Muy favorable	0

Fuente: Gualacata, J., 2018.

Según la **Tabla LVI**, se evidencia que la mayor parte de las discontinuidades que forman la familia J2 tienen condición **Muy Favorable** en con relación al eje de la galería de avance, por lo tanto, no se aplica un factor de corrección y se establece un valor **RMR de 53**.

Finalmente, la **Tabla LVII**, presenta los resultados de la puntuación RMR final obtenido para las principales familias de juntas identificadas en la galería veta B; se tomó la valorización de la familia J1 ya que es la que más se presenta a lo largo de la galería. En base a los resultados se puede establecer que la calidad del macizo de la galería es de tipo **IV-MALA**, con una puntuación media de **40**.

Tabla LVII RMR final de la familia de juntas perteneciente a la Galería Veta B.

RMR FAMILIA DE JUNTAS GALERÍA VETA B			
FAMILIA	RMR TOTAL	CALIDAD DEL MACIZO ROCOSO	CONDICIÓN DE LA FAMILIA RESPECTO A LA DIRECCIÓN DE LA GALERÍA
J1:071/44	37-45	TIPO III- REGULAR	Medio- Muy Desfavorable
J2:325/76	53	TIPO III- REGULAR	Muy Favorable
VALOR MEDIO GALERÍA	40	TIPO IV-MALA	

Fuente: Gualacata, J., 2018.

3.1.5 Sector Frente 11- Subnivel 2

Descripción general de la geología del sector

- **Mineralización**

La mineralización del sector también está caracterizada por la presencia de feldespatos, cuarzo, calcopirita y pirita. Los sulfuros que no se presentan en este sector son arsenopirita y pirrotina.

➤ **GALERÍA NORTE-SUBNIVEL 2**

- **Identificación de familias de Discontinuidades**

El registro de las discontinuidades de la galería de avance se llevó conforme detalla la hoja geomecánica del **Anexo IX**, en la cual se describe las características de las juntas que presente el área estudiada. La longitud de evaluación de la galería es de aproximadamente 20 m.

Mediante la utilización del software DIPS se establecieron las principales familias de diaclasas de la galería, siendo esta **J1: 089/43**, **J2: 360/67** y una vetilla (mineralización con 0.05 m de potencia) que se presenta a lo largo de la galería con mediciones **J3:070/35**; las principales familias se pueden visualizar en la **Figura. 3.10**.

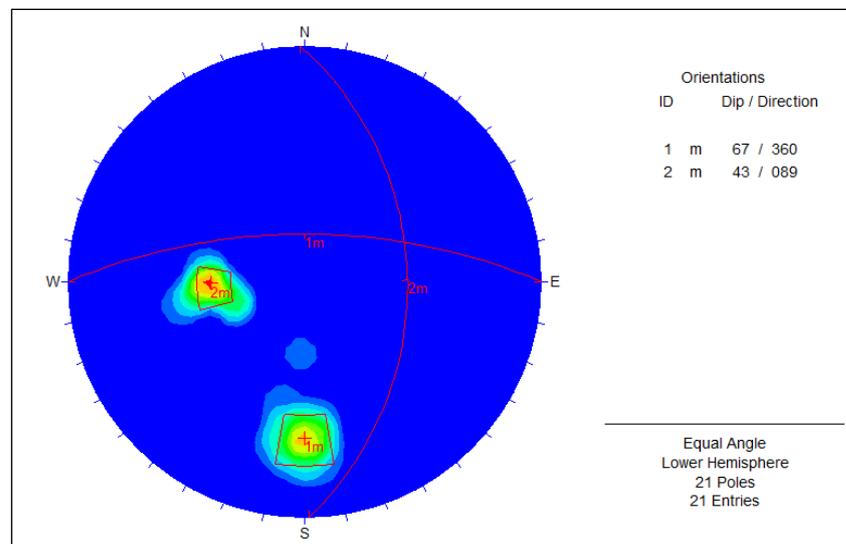


Figura. 3.10 Principales familias de juntas identificadas en la galería norte, sector Frente 11.

Fuente: Software Dips v 5.1

Tabla LVIII Principales estructuras geológicas identificadas, Galería Norte, sector Frente 11.

Principales Estructuras Galería Norte Frente 11		
Dirección	Buzamiento	Tipo
360	67	Familia J1
089	43	Familia J2

Fuente: Gualacata, J., 2018.

- **Análisis RMR de las familias de discontinuidades.**

Una vez definido las principales familias identificadas a lo largo del mapeo realizado en la galería se procede a valorar los diferentes parámetros de clasificación geomecánica RMR (Bieniawski, 1989), a continuación, se presenta las características de la Familia J1.

Familia J1: 360/67

- 1. Resistencia a la Compresión Simple:** Según los resultados de ensayos de compresión simple se tiene un valor de resistencia de 297.3 MPa.
- 2. RQD:** Considerando las fracturas por cada metro que se presenten en campo se utilizó el criterio de Hudson (Ec.1) para obtener una valoración siendo esta de 83-94%.
- 3. Separación de las discontinuidades,** medido entre 60-80 cm.

4. Estado de las discontinuidades

- a. La continuidad de las juntas se establece en un rango 1-3 m.
- b. La abertura de las Juntas varía en un rango de 1-0.1mm.
- c. La rugosidad de las juntas se describe como Ondulada.
- d. Como relleno se presenta mineral de cuarzo, y alta presencia de óxidos >5 mm de espesor carácter blando.
- e. Las paredes de las discontinuidades se presentan un tanto alteradas definiéndolas como Moderadamente alteradas.

5. Agua Freática: A lo largo del mapeo se puede evidenciar paredes de discontinuidades sin humedad, estableciéndolas como secas.

- **Valoración RMR Básico**

Con las características geomecánicas de cada parámetro se procede a dar la puntuación respectiva según (Bieniawski, 1989). La **Tabla LIX**, presenta la puntuación final del RMR Básico para la familia J1.

Tabla LIX Valoración RMR Básico familia J1:360/67
Galería norte, sector Frente 11.

RMR Básico	
Resistencia a la compresión simple	15
RQD	13
Separación de discontinuidades	8
Estado de discontinuidades	10

Agua Freática	15
TOTAL	59

Fuente: Gualacata, J., 2018.

- **Valoración RMR Modificado**

En base al mapeo detallado de las juntas a lo largo de la galería se puede identificar la ubicación específica de la familia de discontinuidades J1 y evaluar la condición en la que se presentan de acuerdo con la dirección de buzamiento de la labor (110°).

La **Tabla LX**, presenta un resumen de la condición de las juntas y el factor de corrección respectivo que debe aplicarse al RMR Básico definido anteriormente, según (Bieniawski, 1989).

Tabla LX Corrección por Orientación de juntas familia J1:360/67, galería norte subnivel 2, sector Frente 11-Norte.

Desde	Hasta	T	Dir.	Buz	Dir. Eje Galería	Condición	Criterio	Factor de Corrección
0+002	0+003	J	355	60	335	Perpendicular a la galería	Muy favorable	0
0+005	0+006	J	355	65	335	Perpendicular a la galería	Muy favorable	0
0+006	0+007	J	355	64	335	Perpendicular a la galería	Muy favorable	0
0+008	0+009	J	355	67	335	Perpendicular a la galería	Muy favorable	0
0+010	0+011	J	355	73	335	Perpendicular a la galería	Muy favorable	0
0+013	0+014	J	355	70	335	Perpendicular a la galería	Muy favorable	0
0+013	0+014	J	355	67	335	Perpendicular a la galería	Muy favorable	0

0+016	0+017	J	355	74	335	Perpendicular a la galería	Muy favorable	0
-------	-------	---	-----	----	-----	-------------------------------	------------------	---

Fuente: Gualacata, J., 2018.

Según la **Tabla LX**, se evidencia que la mayor parte de las discontinuidades que forman la familia J1 tienen condición Muy Favorable en relación con la dirección del eje de la galería de avance, teniendo unos factores de corrección de **0**; por lo tanto, se puede establecer un valor de RMR de **59**.

Familia J2: 089/43

- 1. Resistencia a la Compresión Simple:** Según los resultados de ensayos de compresión simple se tiene un valor de resistencia de 297.3 MPa.
- 2. RQD:** Considerando las fracturas por cada metro que se presenten en campo se utilizó el criterio de Hudson (Ec.1) para obtener una valoración siendo esta de 83-91%.
- 3. Separación de las discontinuidades,** medido entre 50-70cm.
- 4. Estado de las discontinuidades**
 - a. La continuidad de las juntas se establece en un rango 1-3 m.
 - b. La abertura en las juntas de esta familia se encuentra en un rango de 1-0.1mm.

- c. La rugosidad de las juntas se describe como Ligeramente Rugosas.
- d. Como relleno se presenta óxidos y cuarzo con espesor >5 mm de carácter duro.
- e. Las paredes de las discontinuidades presentan alteraciones significativas en ciertos tramos por ciertas vetillas por lo que se establece paredes Moderadamente Alteradas.

5. Agua Freática: A lo largo del mapeo se puede evidenciar paredes de discontinuidades sin humedad.

- **Valoración RMR Básico**

Con las características geomecánicas de cada parámetro se procede a dar la puntuación respectiva según (Bieniawski, 1989). La **Tabla LXI**, presenta la puntuación final del RMR Básico para la familia J2.

Tabla LXI Valoración RMR Básico familia J2:089/43, Galería Norte subnivel 2, sector Frente 11.

RMR Básico	
Resistencia a la compresión simple	7
RQD	20
Separación de discontinuidades	8
Estado de discontinuidades	15
Agua Freática	15
TOTAL	62

Fuente: Gualacata, J., 2018.

- **Valoración RMR Modificado**

En base al mapeo detallado de las juntas a lo largo de la galería se puede identificar la ubicación específica de la familia de discontinuidades J2 y evaluar la condición en la que se presentan de acuerdo con la dirección de buzamiento de la labor (335°).

La **Tabla LXII**, presenta un resumen de la condición de las juntas y el factor de corrección respectivo que debe aplicarse al RMR Básico definido anteriormente, según (Bieniawski, 1989).

Tabla LXII Corrección por Orientación de juntas familia J1:089/43, galería Norte, sector Frente 11.

Avance		T	Dir de Buz	Buz	Dir. Eje Galería	Condición	Criterio	Factor de Corrección
0+000	0+001	J	90	45	335	Paralela a la galería	Medio	-5
0+003	0+004	J	85	46	335	Paralela a la galería	Muy desfavorable	-12
0+004	0+005	J	87	44	335	Paralela a la galería	Medio	-5
0+006	0+007	J	91	39	335	Paralela a la galería	Medio	-5
0+010	0+011	J	90	43	335	Paralela a la galería	Medio	-5

Fuente: Gualacata, J., 2018.

Según la **Tabla LXII**, se evidencia que la mayor parte de las discontinuidades que forman la familia J2 tienen condición de **Medio** en relación con la

dirección del eje de la galería de avance, teniendo unos factores de corrección de **-5**; por lo tanto, se puede establecer un valor de RMR de **57**.

Finalmente, la **Tabla LXIII**, presenta los resultados de la puntuación RMR final obtenido para las principales familias de juntas identificadas en la galería norte subnivel 2, sector frente 11; se tomó la valorización de la familia J1 y J2. En base a los resultados se puede establecer que la calidad del macizo de la galería es de tipo **III-REGULAR**, con una puntuación media de **58**.

Tabla LXIII RMR final para la familia de juntas perteneciente a la Galería Norte-Subnivel 2, sector Frente 11.

RMR FAMILIA DE JUNTAS GALERÍA VETA B			
FAMILIA	RMR TOTAL	CALIDAD DEL MACIZO ROCOSO	CONDICIÓN DE LA FAMILIA RESPECTO A LA DIRECCIÓN DE LA GALERÍA
J1:360/67	59	TIPO III-REGULAR	Muy Favorable
J2:089/43	57	TIPO III-REGULAR	Medio
VALOR MEDIO GALERÍA	57-59	TIPO III-REGULAR	

Fuente: Gualacata, J., 2018.

➤ **GALERÍA SUR-SUBNIVEL 2**

- **Identificación de familias de Discontinuidades**

El registro de las discontinuidades de la galería de avance se llevó conforme detalla la hoja geomecánica del **Anexo XXV**, en la cual se describe las características de las juntas que presente el área estudiada. La longitud de evaluación de la galería es de aproximadamente 20 m.

Mediante la utilización del software DIPS se establecieron las principales familias de diaclasas de la galería, siendo esta **J1: 085/44**, como familia secundaria **J2: 084/44** y una vetilla **J3 75/43**, como se puede visualizar en

Figura. 3.11.

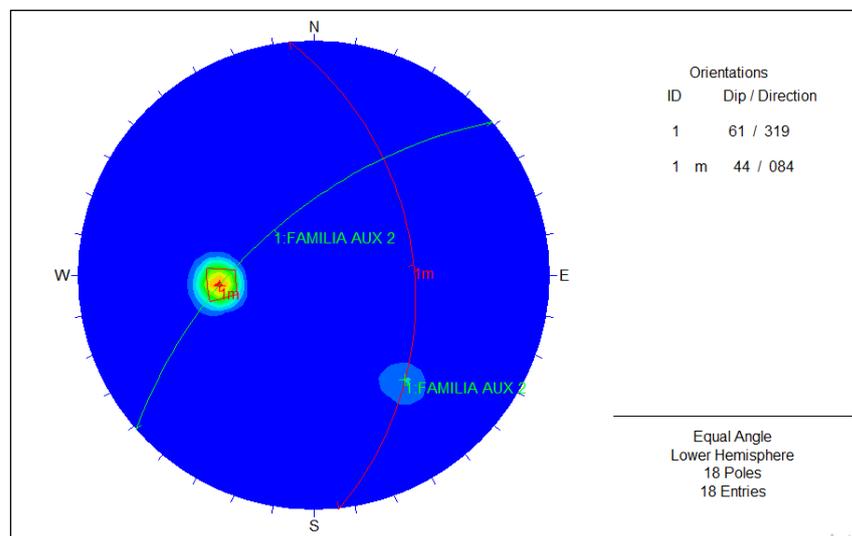


Figura. 3.11 Principales familias de juntas identificadas en la galería sur subnivel 2, sector Frente 11.

Fuente: Software Dips v 5.1.

Tabla LXIV Principales estructuras geológicas identificadas, galería sur subnivel 2, sector Frente 11.

Principales Estructuras Galería Sur Frente 11		
Dirección	Buzamiento	Tipo
085	44	FamiliaJ1
319	61	FamiliaJ2 Aux

Fuente: Gualacata, J., 2018.

- **Análisis RMR de las familias de discontinuidades.**

Una vez definido las principales familias identificadas a lo largo del mapeo realizado en la galería se procede a valorar los diferentes parámetros de clasificación geomecánica RMR (Bieniawski, 1989), a continuación, se presenta las características de la Familia J1:

Familia J1: 085/44

- 1. Resistencia a la Compresión Simple:** Según los resultados de ensayos de compresión simple se tiene un valor de resistencia de 296.0 MPa.
- 2. RQD:** Considerando las fracturas por cada metro que se presenten en campo se utilizó el criterio de Hudson (Ec.1) para obtener una valoración siendo esta de 75-86%.

3. Separación de las discontinuidades, medido entre 6- 20 cm.

4. Estado de las discontinuidades

- a. La continuidad de las juntas se establece en un rango 1-3 m.
- b. La abertura de las Juntas varía en un rango de 1-5mm y en ciertos tramos las discontinuidades presentan aberturas de 0.2 mm.
- c. La rugosidad de las juntas se describe como Ligeramente Rugosas.
- d. Como relleno se presenta mineral de cuarzo, y alta presencia de óxidos >5 mm de espesor carácter blando.
- e. Las paredes de las discontinuidades se presentan como Moderadamente alteradas.

5. Agua Freática: A lo largo del mapeo se puede evidenciar paredes de discontinuidades sin humedad.

- **Valoración RMR Básico**

Con las características geomecánicas de cada parámetro se procede a dar la puntuación respectiva según (Bieniawski, 1989). La **Tabla LXV**, presenta la puntuación final del RMR Básico para la familia J1.

Tabla LXV Valoración RMR Básico familia J1:085/44, Galería Sur-Subnivel 2, sector Frente 11.

RMR Básico	
Resistencia a la compresión simple	15
RQD	13
Separación de discontinuidades	8
Estado de discontinuidades	11
Agua Freática	15
TOTAL	62

Fuente: Gualacata, J., 2018.

- **Valoración RMR Modificado**

En base al mapeo detallado de las juntas a lo largo de la galería se puede identificar la ubicación específica de la familia de discontinuidades J1 y evaluar la condición en la que se presentan de acuerdo con la dirección de buzamiento de la labor (175°).

La **Tabla LXVI**, presenta un resumen de la condición de las juntas y el factor de corrección respectivo que debe aplicarse al RMR Básico definido anteriormente, según (Bieniawski, 1989).

Tabla LXVI Corrección por Orientación de juntas familia J1:085/44, galería sur subnivel 2, sector Frente 11.

Avance		T	Dir de Buz	Buz	Dir. Eje Galería	Condición	Criterio	Factor de Corrección
0+000	0+001	J	80	41	175	Paralela a la galería	Medio	-5

0+000	0+001	J	79	48	175	Paralela a la galería	Muy desfavorable	-12
0+003	0+004	J	84	47	175	Paralela a la galería	Muy desfavorable	-12
0+006	0+007	J	83	43	175	Paralela a la galería	Medio	-5
0+009	0+010	J	82	41	175	Paralela a la galería	Medio	-5
0+010	0+011	J	78	39	175	Paralela a la galería	Medio	-5
0+011	0+012	J	89	43	175	Paralela a la galería	Medio	-5
0+013	0+014	J	78	48	175	Paralela a la galería	Muy desfavorable	-12
0+015	0+016	J	88	46	175	Paralela a la galería	Muy desfavorable	-12
0+016	0+017	J	89	43	175	Paralela a la galería	Medio	-5
0+016	0+017	J	90	42	175	Paralela a la galería	Medio	-5
0+018	0+019	J	93	43	175	Paralela a la galería	Medio	-5
0+019	0+020	J	92	50	175	Paralela a la galería	Muy desfavorable	-12

Fuente: Gualacata, J., 2018.

Según la **Tabla LXVI**, se evidencia que la mayor parte de las discontinuidades que forman la familia J1 tienen condición de **Medio a Muy Desfavorable** en relación con la dirección del eje de la galería de avance, teniendo unos factores de corrección de **-12 y -5**; por lo tanto, se puede establecer un valor de RMR de **50-57**.

Finalmente, la **Tabla LXVII**, presenta los resultados de la puntuación RMR final obtenido para las principales familias de juntas identificadas en la galería sur subnivel 2, sector frente 11; se tomó la valorización de la familia J1 que es la principal de la galería. Con estos resultados se puede establecer

que la calidad del macizo de la galería es de tipo **III-REGULAR**, con una puntuación media de **54**.

Tabla LXVII RMR final para la familia de juntas perteneciente a la Galería Norte-Subnivel 2, sector Frente 11.

RMR FAMILIA DE JUNTAS GALERÍA SUR-SUBNIVEL 2, FRENTE 11			
FAMILIA	RMR TOTAL	CALIDAD DEL MACIZO ROCOSO	CONDICIÓN DE LA FAMILIA RESPECTO A LA DIRECCIÓN DE LA GALERÍA
J1:085/44	50-57	TIPO III-REGULAR	Media-Muy Desfavorable
VALOR MEDIO GALERÍA	54	TIPO III-REGULAR	

Fuente: Gualacata, J., 2018.

La **Figura 3.12**, presenta un esquema de la ubicación de las galerías de explotación de la mina con los resultados obtenidos de las respectivas valoraciones RMR Bieniawski 1989 en cada galería, en su mayor parte la calidad del macizo rocoso se encuentra **entre BUENA Y REGULAR** (TIPO II Y III), la galería denominada Veta B es la única que presenta un valor de puntuación RMR de 40 que la califica como calidad **MALA (TIPO IV)**.

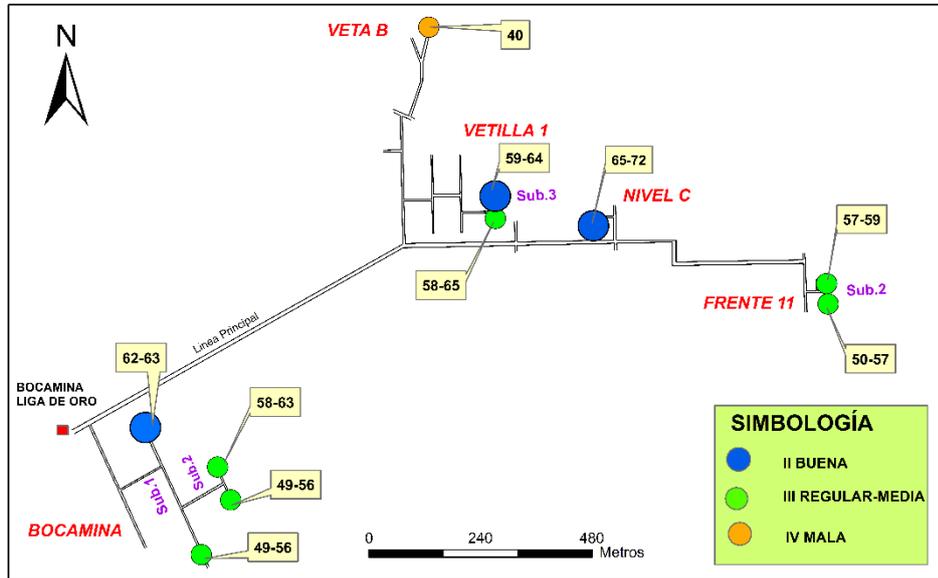


Figura. 3.12 Puntuación y Calidad del Macizo Rocoso según RMR para las galerías de explotación de la mina Liga de Oro.

Fuente: Gualacata, J., 2018.

CAPITULO 4

ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1. Modelización de cuñas, optimización de azimut de galerías de explotación.

Una vez determinado la calidad del macizo rocoso y condición de las discontinuidades referente a la dirección de la excavación, empleando la clasificación geomecánica (RMR Bieniawski, 1989), se realiza el modelamiento tridimensional de las principales juntas determinadas para cada galería; para esto, se utiliza el software geotécnico Unwedge v.3, el cual mediante un entorno gráfico presenta las potenciales cuñas inestables, estableciendo el factor de seguridad de las mismas con el objetivo de permitir establecer medidas de sostenimiento para las galerías modeladas.

El criterio de rotura a emplear para el análisis de cuñas en el software **Unwedge** v3, es el de Mohr Coulomb; los valores requeridos para el análisis son: φ (ángulo de fricción interna) y c (cohesión), **ver Ec.3**. Estos parámetros se determinan a través del software geotécnico **Rock Data** v3 que utiliza datos de resistencia al corte directo, índices geológicos de la roca, disturbancia de la excavación, profundidad de excavación entre otros que mediante relaciones de modelos matemáticos de rotura Generalizado Hoek-Brown- Mohr Coulomb, establecen los valores requeridos.

Mediante el uso del software Unwedge v3, además se evaluará la variación que presenta el factor de seguridad de las cuñas determinadas cuando

cambia el rumbo o dirección de la galería, problema que se presenta comúnmente en pequeña minería al realizar la perforación de forma manual, el rango de variación que se tomará es de $\pm 10^\circ$ de la dirección real de la galería tomada en campo, esto solo con el fin de analizar con más amplitud el comportamiento de cada cuña. Con todos estos factores analizados se modela el tipo de sostenimiento para las cuñas que presenta un factor de seguridad menor a 2, consideradas como inestables.

A continuación, se presenta a detalle el modelamiento de cuñas, optimización de rumbo para cada galería en la que se realizó la evaluación geomecánica.

4.1.1. Sector Bocamina

La **Tabla LXVIII**, presenta un resumen de la calidad del macizo rocoso según la valorización geomecánica RMR para las cuatro galerías del sector, así mismo detalla la condición de cada junta referente a la dirección que tiene la excavación

Tabla LXVIII Resultados de evaluación geomecánica RMR de las cuatro galerías pertenecientes al sector Bocamina.

SECTOR BOCAMINA					
SUBNIVEL	AREA	FAMILIA / JUNTAS	RMR	CALIDAD	CONDICION
1	GALERIA NORTE	224/40	63	II BUENA	Muy Desfavorable
		036/49	62	II BUENA	Muy Desfavorable
		263/71	63	II BUENA	Muy Favorable
	GALERIA SUR	210/38	47-54	III REGULAR	Medio-Muy Desfavorable
		034/40	50-57	III REGULAR	Medio-Muy Desfavorable
2	GALERIA NORTE	031/42	60-67	II BUENA	Medio-Muy Desfavorable
		078/78	59	III REGULAR	Muy Desfavorable
		112/78	58	III REGULAR	Muy Desfavorable
	GALERIA SUR	210/44	49-56	III REGULAR	Medio-Muy Desfavorable

Fuente: Gualacata, J., 2018.

- **Análisis de Cuñas Galería Norte-Subnivel 1**

Tabla LXIX Valores determinados mediante el software Rock Data para la Galería Norte Subnivel 1- Bocamina.

Parámetros Rock Data	
RCS	120 MPa
RMR	63
GSI	58
mi	25
D	0.8
Cota	200 m
c	1.194
fi	50.76

Fuente: Gualacata, J., 2018.

Tabla LXX Especificaciones de las cuñas formadas por la intersección de discontinuidades de la galería norte subnivel 1, sector Bocamina; detalla factor de seguridad y peso de cada una.

Parámetros Unwedge			
RCS	120 MPa		
Densidad	2.79 ton/m ³		
Azimut	290°		
Cuñas	Factor de Seguridad	Peso (Ton)	Volumen (m ³)
Piso (2)	Estable	0.284	0.102
Inferior Derecha (4)	6.367	3.19	1.143
Inferior Izquierda (5)	5.504	3.1913	1.402
Cuña de Techo (7)	1.896	0.025	0.009

Fuente: Gualacata, J., 2018.

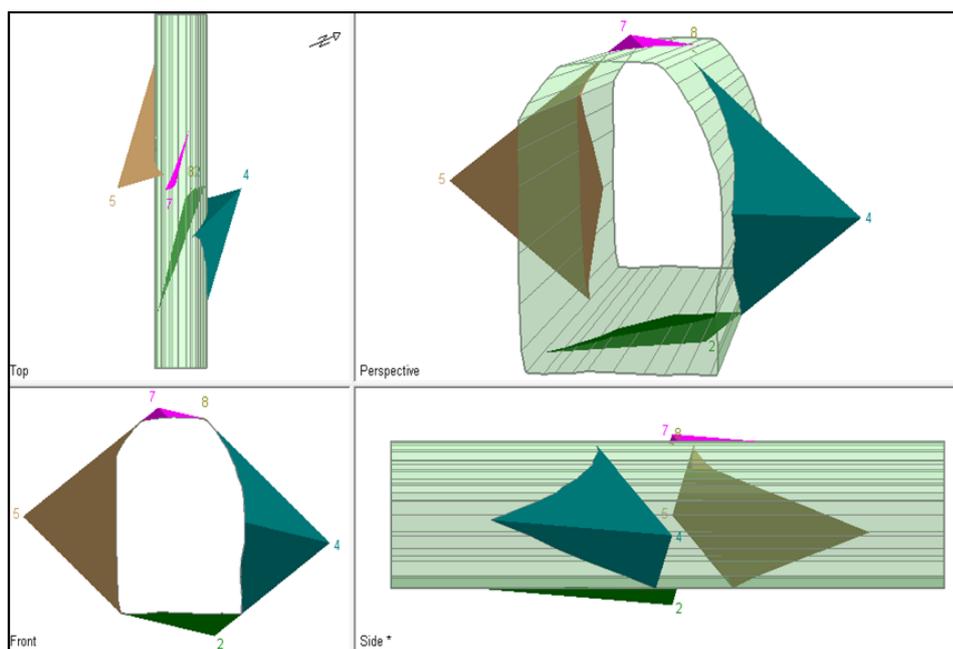


Figura. 4.1 Visualización tridimensional de las cuñas formadas en la Galería Norte Subnivel 1-Bocamina utilizando el software Unwedge, las dimensiones de la labor son de 2.1 m (ancho) x 2.4 m (alto).

Fuente: Software Unwedge v 3.0

- **Optimización de rumbo Galería Norte-Subnivel 1**

La **Figura. 4.2**, muestra la variación del factor de seguridad de las cuñas formadas en la galería a medida que se varía el rumbo y buzamiento de esta, la escala de colores esta segmentada en valores de 0 a 10 que representan el mínimo factor de seguridad que puede presentar en alguna cuña a lo largo de las diferentes direcciones que puede tomar la galería. Se puede realizar variaciones según el caso y verificar como cambian los valores de factor de seguridad de las cuñas inicialmente determinadas.

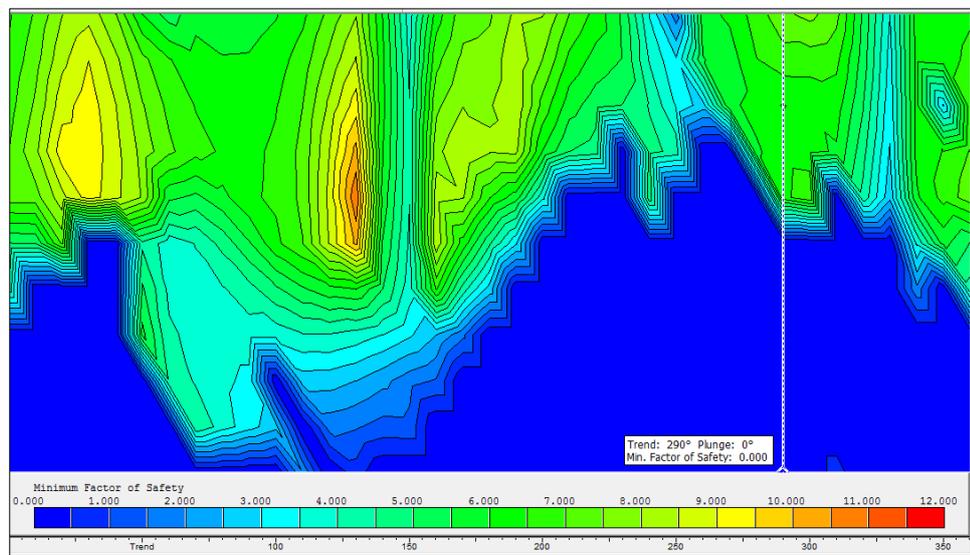


Figura. 4.2 Diagrama de contornos del comportamiento del factor de seguridad de las cuñas para la Galería Norte-Sub 1-Bocamina, variando direcciones de rumbo.

Fuente: Software Unwedge v 3.0

La **Tabla LXXI**, presenta los valores de factor de seguridad obtenidos para la cuña de techo (7) realizando una variación de $\pm 10^\circ$ a la dirección real de

la galería (290°), esta cuña se tomó para análisis debido al valor que presentó en la evaluación inicial (**ver Tabla LXX**). Se puede evidenciar que al variar la dirección de la galería más al Oeste el factor de seguridad de la cuña de techo tiende a disminuir (300°), lo cual se debe considerar al momento del avance de la perforación, para variaciones al Este (280°), el factor de seguridad aumenta, es decir para estas direcciones es favorable la variación de rumbo.

Tabla LXXI Resultados de la variación del factor de seguridad para la Galería Norte-Subnivel 1-Bocamina

Dirección	Buzamiento	Cuñas	Factor de Seguridad	Peso (Ton)	Volumen (m3)
280	0	Cuña de Techo (7)	2.72	0.025	0.009
300	0	Cuña de Techo (7)	1.172	0.13	0.046

Fuente: Gualacata, J., 2018.

- **Análisis de Cuñas Galería Sur-Subnivel 1**

Tabla LXXII Valores determinados mediante el software Rock Data para la Galería Sur Subnivel 1- Bocamina.

Parámetros Rock Data	
RCS	107.9 MPa
RMR	47
GSI	42
D	0.8
Cota	330 m
c	0.895
fi	37.99

Fuente: Gualacata, J., 2018.

Tabla LXXIII Especificaciones de las cuñas formadas por la intersección de discontinuidades, detalla factor de seguridad y peso de cada una. Galería Sur- Subnivel 1- Bocamina.

Parámetros Unwedge			
RCS	107.9 MPa		
Densidad	2.69 ton/m ³		
Azimut	130°		
Cuñas	Factor de Seguridad	Peso (Ton)	Volumen (m ³)
Piso (2)	Estable	0.955	0.354
Superior Izquierda (3)	3.636	16.102	5.967
Inferior Derecha (6)	5.504	3.1913	1.402
Cuña de Techo (7)	1.833	0	0

Fuente: Gualacata, J., 2018.

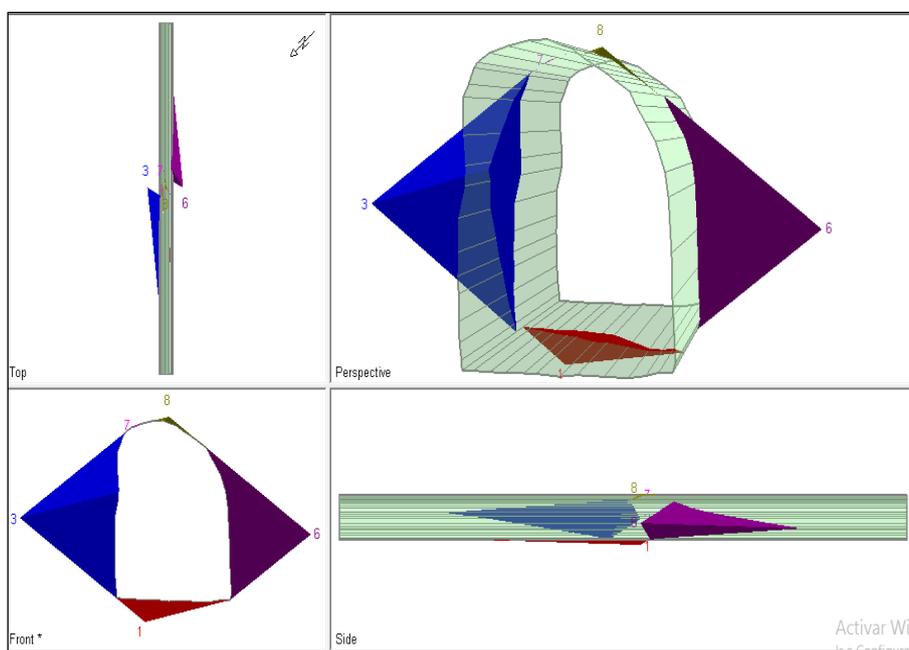


Figura. 4.3 Visualización tridimensional de las cuñas formadas en la Galería Sur Subnivel 1-Bocamina utilizando el software Unwedge, las dimensiones de la labor son de 1.9 m (ancho) x 2.3 m (alto).

Fuente: Software Unwedge v 3.0

- Optimización de rumbo Galería Sur-Subnivel 1.

La **Figura. 4.4**, muestra la variación del factor de seguridad de las cuñas formadas en la galería a medida que se varía el rumbo y buzamiento de esta.

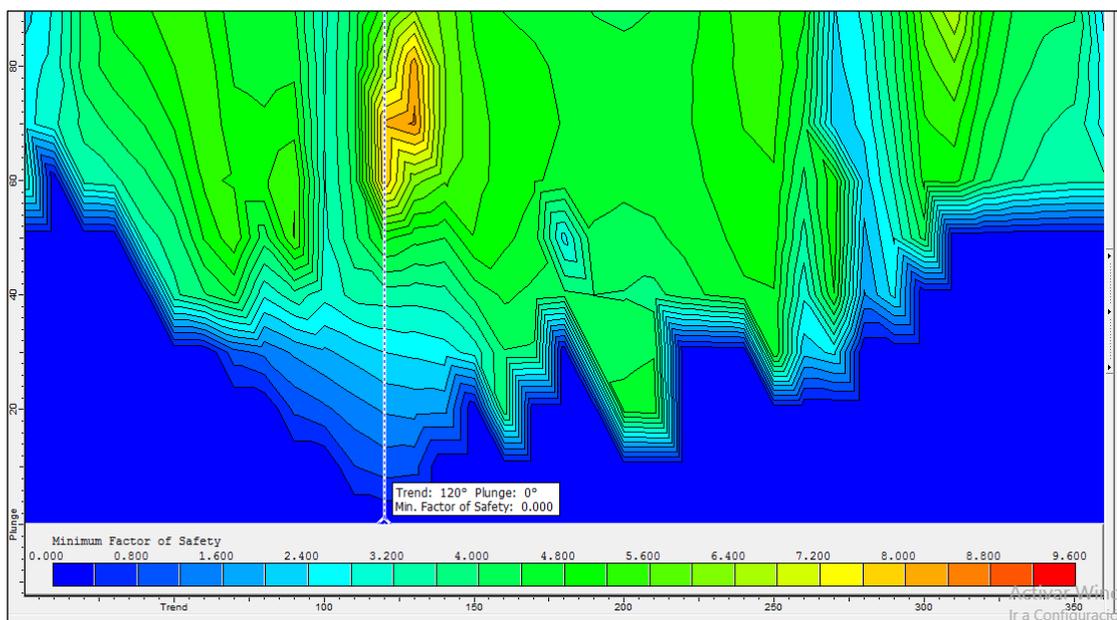


Figura. 4.4 Diagrama de contornos del comportamiento del factor de seguridad de las cuñas para la Galería Sur-Subnivel 1-Bocamina, variando direcciones de rumbo.

Fuente: Software Unwedge v 3.0

La **Tabla LXXIV**, presenta los valores de factor de seguridad obtenidos realizando una variación de $\pm 10^\circ$ a la dirección real de la galería (130°), las principales cuñas de interés de evaluación son las que se presentan en los

hastiales de la galería (Superior Izquierda e Inferior Derecha, *ver Figura. 4.3*), se puede verificar que al variar la dirección de la galería más al Oeste el factor de seguridad de las cuñas tiende a disminuir su valor considerablemente, lo cual se debe considerar al momento del avance de la perforación, para variaciones al Este (140°), el factor de seguridad aumenta, es decir para estas direcciones es favorable la variación de rumbo.

Tabla LXXIV Resultados de la variación del factor de seguridad para la Galería Sur-Sub1-Bocamina

Trend	Plunge	Cuñas	Factor de Seguridad	Peso (Ton)	Volumen (m3)
120	0	Techo	0.458	0.008	0.003
120	0	Superior Izquierda	1.503	32.492	12.041
120	0	Inferior Derecha	1.785	19.216	7.121
140	0	Superior Izquierda	3.85	7.76	2.876
140	0	Inferior Derecha	3.292	5.272	1.954

Fuente: Gualacata, J., 2018.

- **Análisis de Cuñas Galería Sur-Subnivel 2**

Tabla LXXV Valores determinados mediante el software Rock Data para la Galería Sur Subnivel 2-Bocamina.

Parámetros Rock Data	
RCS	89.83 MPa
RMR	49
GSI	44
mi	20
D	0.8
Cota	330 m
c	0.964
fi	37.59

Fuente: Gualacata, J., 2018.

Tabla LXXVI Especificaciones de las cuñas formadas por la intersección de discontinuidades para la galería sur-subnivel 2, bocamina; detalla factor de seguridad y peso de cada una.

Parámetros Unwedge			
RCS	89.93 MPa		
Densidad	2.74 ton/m ³		
Azimut Gal	130°		
Cuñas	Factor de Seguridad	Peso (Ton)	Volumen (m³)
Piso (1)	<i>Estable</i>	7.066	2.575
Inferior Izquierda (3)	1.992	2.182	0.795
Inferior Derecha (6)	1.808	6.969	1.808
Techo (7)	0.802	0.018	0.006

Fuente: Gualacata, J., 2018.

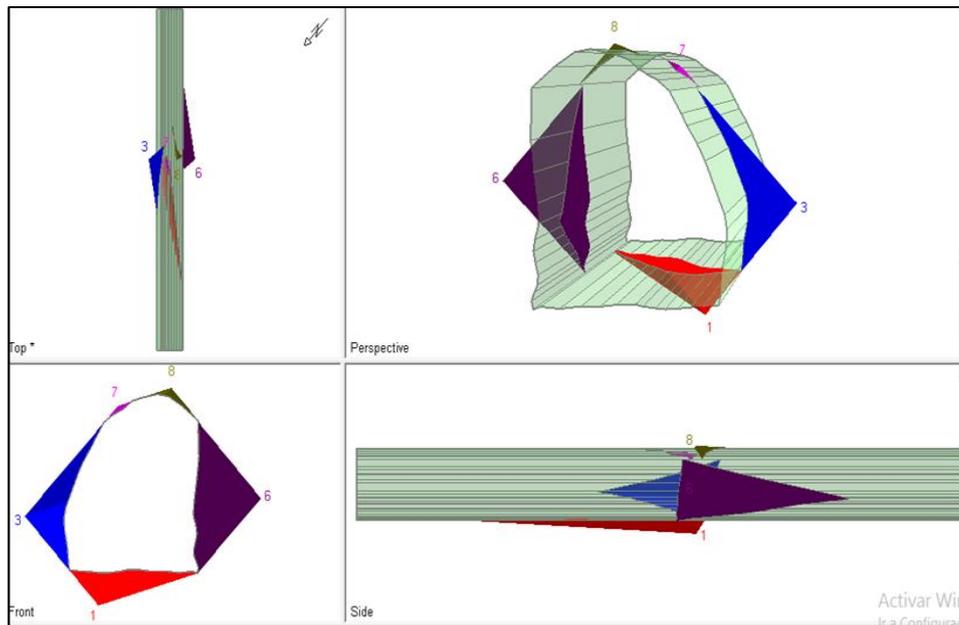


Figura. 4.5 Visualización tridimensional de las cuñas formadas en la Galería Sur Subnivel 2-Bocamina utilizando el software Unwedge, las dimensiones de la labor son de 2.1 m (ancho) x 2.5 m (alto).

Fuente: Software Unwedge v 3.0

- **Optimización de rumbo Galería Sur-Subnivel 2**

La **Figura. 4.6**, muestra la variación del factor de seguridad de las cuñas formadas en la galería a medida que se varía el rumbo y buzamiento de esta.

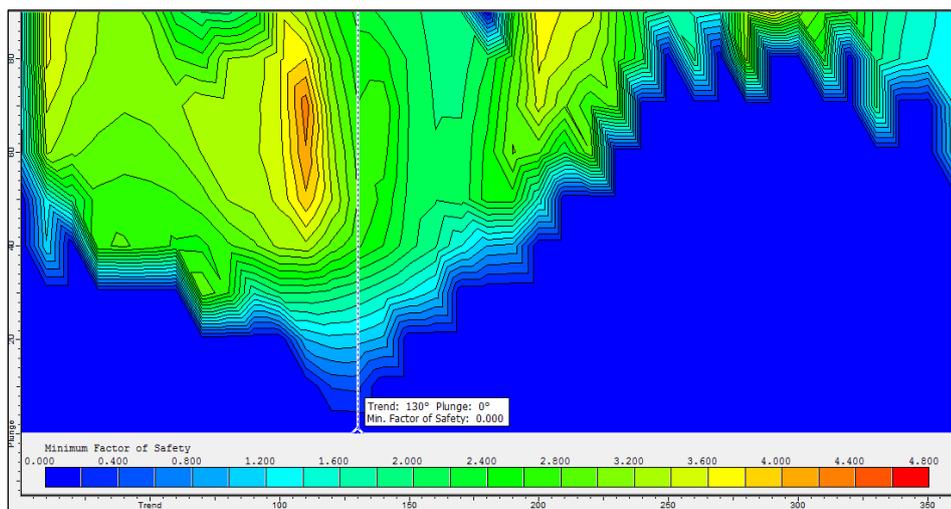


Figura. 4.6 Diagrama de contornos del comportamiento del factor de seguridad de las cuñas para la Galería Sur-Subnivel 2- Bocamina, variando direcciones de rumbo.
Fuente: Software Unwedge v 3.0

La **Tabla LXXVII**, presenta los valores de factor de seguridad obtenidos realizando una variación de $\pm 10^\circ$ a la dirección real de la galería (130°), las principales cuñas de interés de evaluación son las que se presentan en los hastiales de la galería (Inferior Izquierda, Superior Derecha y Techo **ver Figura. 4.5**), se puede verificar que al variar la dirección de la galería al Oeste (120°) el factor de seguridad de la cuña de techo disminuye, mientras que el valor de factor de seguridad de las cuñas de los hastiales aumenta, para variaciones al Este (140°), el factor de seguridad aumenta, pero no supera el valor de factor de seguridad de 2, que se tomó como base de estabilidad.

Tabla LXXVII Resultados de la variación del factor de seguridad para la Galería Sur-Sub2-Bocamina

Trend	Plunge	Cuñas	Factor de Seguridad	Peso (Ton)	Volumen (m3)
120	0	Inferior Izquierda	2.603	5.47	1.993
120	0	Superior Derecha	2.576	15.23	5.55
120	0	Techo	0.79	0.004	0.002
140	0	Inferior Izquierda	2.085	1.17	0.42
140	0	Superior Derecha	1.829	4.42	1.61
140	0	Techo	1.153	0.02	0.007

Fuente: Gualacata, J., 2018.

- **Análisis de Cuñas Galería Norte-Subnivel 2**

Tabla LXXVIII Valores determinados mediante el software Rock Data para la Galería Norte Subnivel 2-Bocamina.

Parámetros Rock Data	
RCS	107.9 MPa
RMR	47
GSI	42
mi	20
D	0.8
Cota	330 m
c	0.895
fi	37.99

Fuente: Gualacata, J., 2018.

Tabla LXXIX Especificaciones de las cuñas formadas por la intersección de discontinuidades para la galería norte subnivel 2, bocamina; detalla factor de seguridad y peso de cada una.

Parámetros Unwedge			
RCS	107.9 MPa		
Densidad	2.69 ton/m ³		
Az. Gal	310°		
Cuñas	Factor de Seguridad	Peso (Ton)	Volumen (m³)
Piso (3)	Estable	3.014	1.080
Techo (6)	1.518	1.580	0.566
Superior Derecha (7)	5.215	0.006	0.002

Fuente: Gualacata, J., 2018.

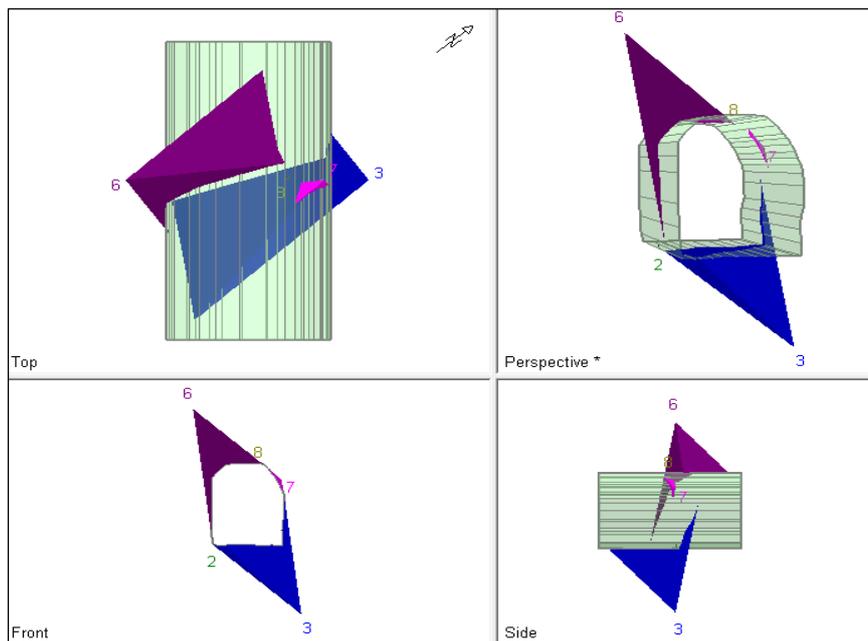


Figura. 4.7 Visualización tridimensional de las cuñas formadas en la Galería Norte Subnivel 2-Bocamina utilizando el software Unwedge, las dimensiones de la labor son de 1.9 m (ancho) x 2.3 m (alto).

Fuente: Software Unwedge v 3.0

- **Optimización de rumbo Galería Norte-Subnivel 2**

La **Figura. 4.8**, muestra la variación del factor de seguridad de las cuñas formadas en la galería a medida que se varía el rumbo y buzamiento de esta.

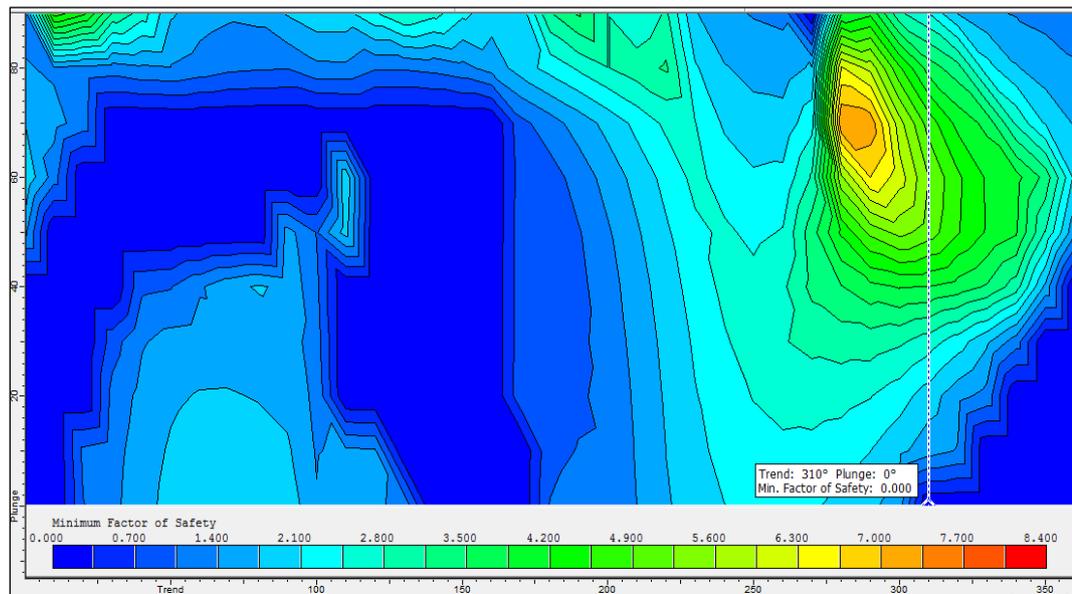


Figura. 4.8 Diagrama de contornos del comportamiento del factor de seguridad de las cuñas para la Galería Sur-Subnivel 2-Bocamina, variando direcciones de rumbo.

Fuente: Software Unwedge v 3.0

La **Tabla LXXX**, presenta los valores de factor de seguridad obtenidos realizando una variación de $\pm 10^\circ$ a la dirección real de la galería (310°), las principales cuñas de interés de evaluación son las que se presentan en los hastiales de la galería (Superior Derecha y Techo **ver Figura. 4.7**), se puede verificar que al variar la dirección de la galería al Oeste (300°) el factor de seguridad de la cuña de techo aumenta (1.617), para variaciones al Este

(320°), el factor de seguridad de techo disminuye (1.406), la cuña de piso se mantiene estable para todas las variaciones que se realizó.

Tabla LXXX Resultados de la variación del factor de seguridad para la galería sur-subnivel2, sector Bocamina

Trend	Plunge	Cuñas	Factor de Seguridad	Peso (Ton)	Volumen (m3)
300	0	Piso	Estable	2.372	0.85
300	0	Techo	1.617	1.129	0.405
300	0	Superior Derecha	4.939	0.01	0.004
320	0	Piso	Estable	4.039	1.448
320	0	Techo	1.406	2.321	0.832
320	0	Superior Derecha	6.079	0.003	0.001

Fuente: Gualacata, J., 2018.

4.1.2. Sector Nivel C

La **Tabla LXXXI**, presenta un resumen de la calidad del macizo rocoso según la valorización geomecánica RMR para las cuatro galerías del sector, así mismo detalla la condición de cada junta referente a la dirección que tiene la excavación.

Tabla LXXXI Resultados de evaluación geomecánica RMR para la galería Nivel C-Veta Cruzada.

SECTOR NIVEL C-VETA CRUZADA					
SUBNIVEL	AREA	FAMILIA / JUNTAS	RMR	CALIDAD	CONDICIÓN
0	GALERIA NORTE	325/76	65	II BUENA	Medio
		056/27	72	II BUENA	Muy Favorable

Fuente: Gualacata, J., 2018.

- **Análisis de Cuñas Galería Veta Cruzada, Nivel C**

Tabla LXXXII Valores determinados mediante el software Rock Data para la Galería Veta Cruzada, Nivel C.

Parámetros Rock Data	
RCS	143.8 MPa
RMR	65
GSI	60
mi	20
D	0.8
Cota	640 m
C	2.88
Fi	45.04

Fuente: Gualacata, J., 2018.

Tabla LXXXIII Especificaciones de las cuñas formadas por la intersección de discontinuidades para la galería veta cruzada, nivel c, detalla factor de seguridad y peso de cada una.

Parámetros Unwedge			
RCS	143 MPa		
Densidad	2.9648 ton/m ³		
Azimet. Gal	110°		
Cuñas	Factor de Seguridad	Peso (Ton)	Volumen (m³)

Inferior Izquierda (2)	Estable	86.269	29.098
Superior Derecha (7)	4.88	95.49	32.21
Superior Derecha (8)	0	0.002	0.001

Fuente: Gualacata, J., 2018.

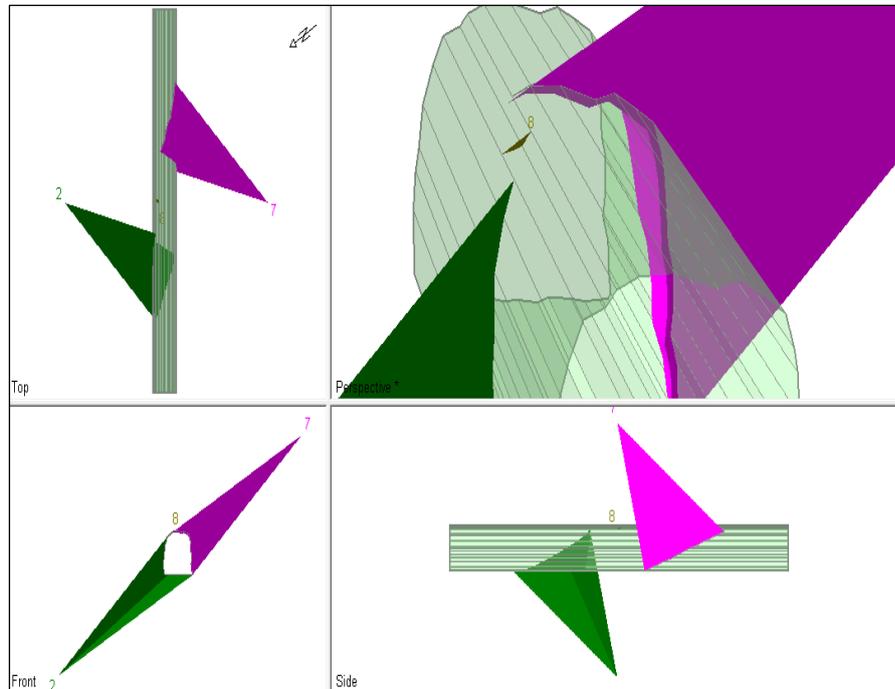


Figura. 4.9 Visualización tridimensional de las cuñas formadas en la Galería Nivel C utilizando el software Unwedge, las dimensiones de la labor son de 2.2 m (ancho) x 2.4 m (alto).

- **Optimización de rumbo Galería Nivel C-Veta Cruzada**

La **Figura. 4.10**, muestra la variación del factor de seguridad de las cuñas formadas en la galería a medida que se varía el rumbo y buzamiento de esta.

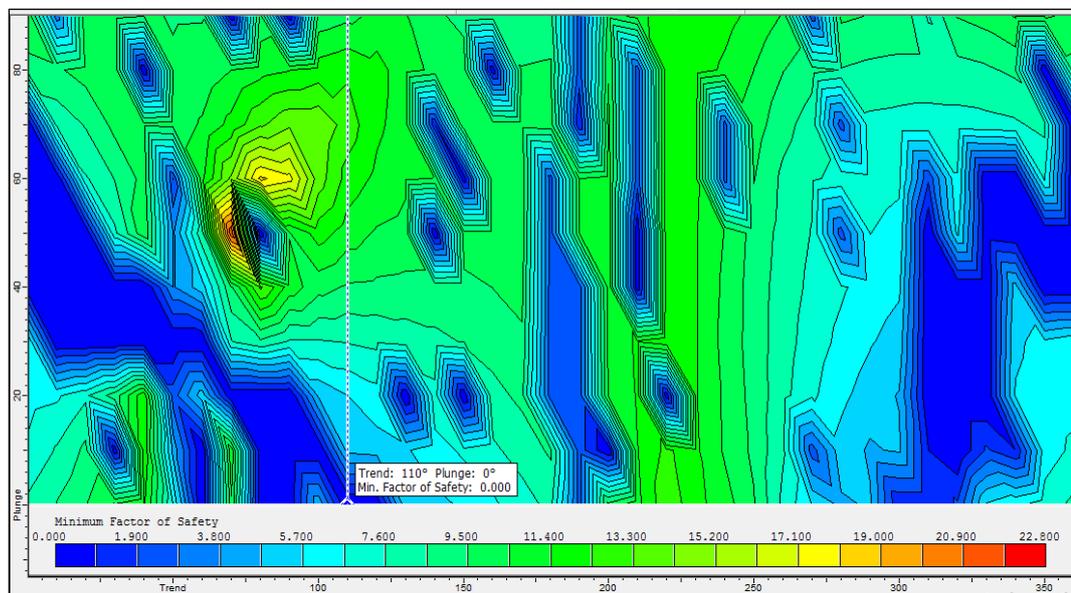


Figura. 4.10 Diagrama de contornos del comportamiento del factor de seguridad de las cuñas para la Galería Nivel C-Veta Cruzada, variando direcciones de rumbo.

Fuente: Software Unwedge v 3.0

La **Tabla LXXXIV**, presenta los valores de factor de seguridad obtenidos realizando una variación más amplia de $\pm 15^\circ$ a la dirección real de la galería (110°), las principales cuñas de interés de evaluación son las que se presentan en los hastiales de la galería (Inferior Izquierda y Superior Derecha **ver Figura. 4.9**), se puede verificar que, para ambas direcciones de variación, los factores de seguridad están muy por encima del valor mínimo (2) para considerar cuñas inestables.

Tabla LXXXIV Resultados de la variación del factor de seguridad para la galería veta cruzada, sector Nivel C.

Trend	Plunge	Cuñas	Factor de Seguridad	Peso (Ton)	Volumen (m3)
90	0	Inferior Izquierda	Estable	43.66	14.729
90	0	Superior Derecha	5.639	49.493	16.69
120	0	Inferior Izquierda	Estable	66.72	22.518
120	0	Superior Derecha	5.139	72.877	24.581

Fuente: Gualacata, J., 2018.

4.1.3. Sector Vetilla 1-Subnivel 3

La **Tabla LXXXV**, presenta un resumen de la calidad del macizo rocoso según la valorización geomecánica RMR para las cuatro galerías del sector, así mismo detalla la condición de cada junta referente a la dirección que tiene la excavación.

Tabla LXXXV Resultados de evaluación geomecánica RMR para las galerías del sector Vetilla 1-Subnivel 3.

SECTOR VETILLA 1					
SUBNIVEL	AREA	FAMILIA / JUNTAS	RMR	CALIDAD	CONDICION
	GALERIA NORTE	068/37	59	II BUENA	Medio
		332/54	64	II BUENA	Muy Favorable
	GALERIA SUR	077/50	58-65	III REGULAR	Medio-Muy Desfavorable

Fuente: Gualacata, J., 2018.

- **Análisis de Cuñas Galería Norte-Vetilla 1**

Tabla LXXXVI Valores determinados mediante el software Rock Data para la Galería Norte Subnivel 3-Vetilla 1.

Parámetros Rock Data	
RCS	279 MPa
RMR	59
GSI	35
mi	20
D	1
Cota	350 m
c	1.023
fi	33.54

Fuente: Gualacata, J., 2018.

Tabla LXXXVII Especificaciones de las cuñas formadas por la intersección de discontinuidades para la Galería Norte Subnivel 3- Vetilla 1, detalla factor de seguridad y peso de cada una.

Parámetros Unwedge			
RCS	279 MPa		
Densidad	2.9166ton/m ³		
Azimet. Gal	345°		
Cuñas	Factor de Seguridad	Peso (Ton)	Volumen (m³)
Superior Izquierda (4)	1.655	135.41	46.429
Inferior Derecha (5)	Estable	114.72	39.366

Fuente: Gualacata, J., 2018.

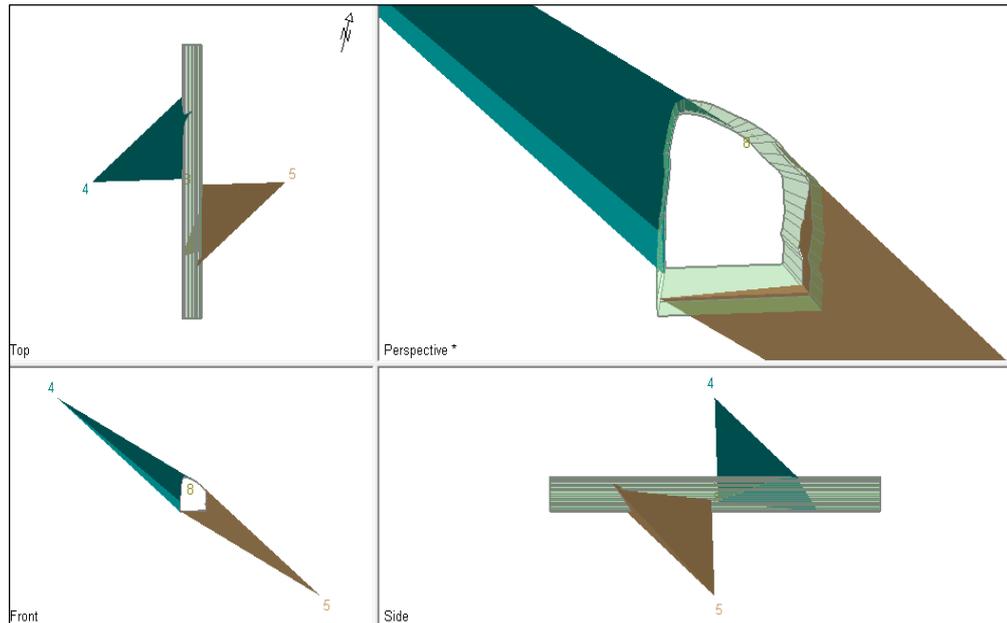


Figura. 4.11 Visualización tridimensional de las cuñas formadas en la Galería Norte-Vetilla 1 utilizando el software Unwedge, las dimensiones de la labor son de 2 m (ancho) x 2.8 m (alto).
Fuente: Software Unwedge v 3.0.

- **Optimización de rumbo Galería Norte Vetilla 1**

La **Figura. 4.12**, muestra la variación del factor de seguridad de las cuñas formadas en la galería a medida que se varía el rumbo y buzamiento de esta.

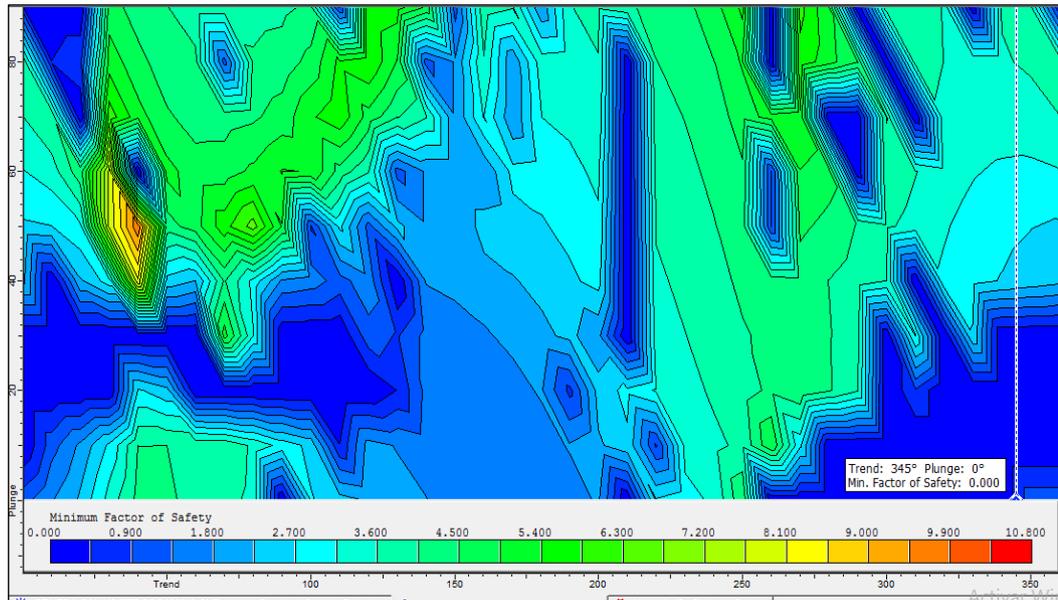


Figura. 4.12 Diagrama de contornos del comportamiento del factor de seguridad de las cuñas para la Galería Norte Vetilla1-Sub 3, variando direcciones de rumbo.

Fuente: Software Unwedge v 3.0

La Tabla **LXXXVIII**, presenta los valores de factor de seguridad obtenidos realizando una variación de $\pm 10^\circ$ a la dirección real de la galería (345°), las principales cuñas de interés de evaluación son las que se presentan en el techo y hastial de la galería (Superior Izquierda e Inferior Derecha **ver Figura. 4.11**), se puede verificar que para direcciones al Oeste (335°) y al Este (355°) el factor de seguridad de la cuña superior Izquierda aumenta en valor, sin embargo, para cualquier dirección no se puede considerar estable debido a su valor por debajo de 2.

Tabla LXXXVIII Resultados de la variación del factor de seguridad para la Galería Norte-Vetilla 1-Sub 3.

Trend	Plunge	Cuñas	Factor de Seguridad	Peso (Ton)	Volumen (m3)
335	0	Superior Izquierda	1.686	130.35	44.69
335	0	Inferior Derecha	Estable	107.8	36.96
355	0	Superior Izquierda	1.717	99.5	34.14
355	0	Inferior Derecha	Estable	93.32	31.99

Fuente: Gualacata, J., 2018.

- **Análisis de Cuñas Galería Sur-Vetilla 1**

Tabla LXXXIX Valores determinados mediante el software Rock Data para la Galería Norte Sub 3- Vetilla 1.

Parámetros Rock Data	
RCS	282.5 MPa
RMR	58
GSI	35
mi	20
D	1
Cota	350 m
c	1.938
fi	44.55

Fuente: Gualacata, J., 2018.

Tabla XC Especificaciones de las cuñas formadas por la intersección de discontinuidades para la galería sur-vetilla 1, detalla factor de seguridad y peso de cada una.

Parámetros Unwedge			
RCS	282.5 MPa		
Densidad	3.13 ton/m ³		
Azimut Galería	139°		
Cuñas	Factor de Seguridad	Peso (Ton)	Volumen (m ³)
Techo (2)	11.19	0.25	0.082
Superior Derecha (4)	8.182	0.557	0.089
Inferior Derecha (5)	Estable	114.7	39.36
Piso (7)	Estable	0.2779	0.089

Fuente: Gualacata, J., 2018.

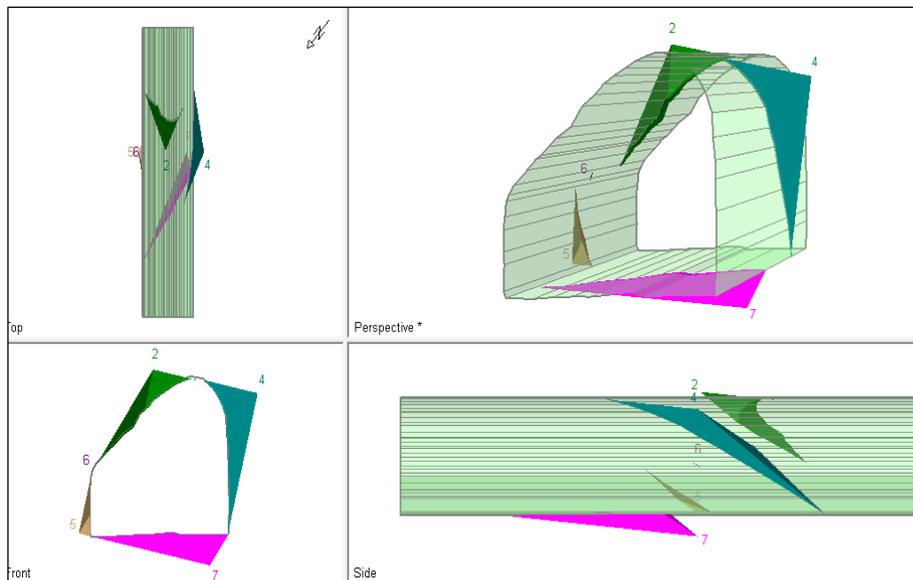


Figura. 4.13 Visualización tridimensional de las cuñas formadas en la Galería Norte-Vetilla 1 utilizando el software Unwedge, las dimensiones de la labor son de 2.2 m (ancho) x 2.3 m (alto).

Fuente: Software Unwedge v 3.0

- **Optimización de rumbo Galería Sur Vetilla 1**

La **Figura. 4.14**, muestra la variación del factor de seguridad de las cuñas formadas en la galería a medida que se varía el rumbo y buzamiento de esta.

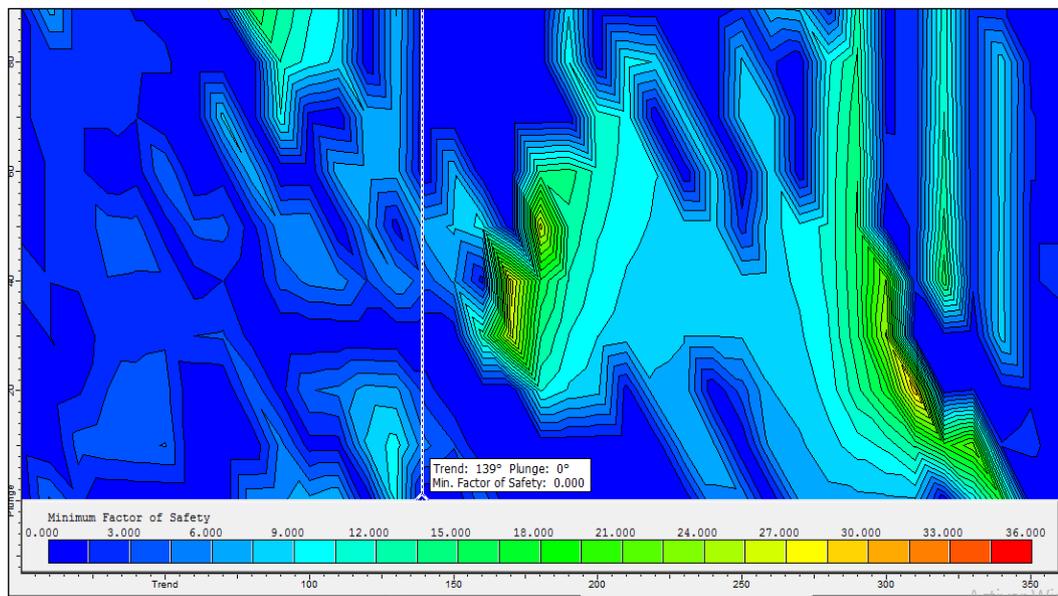


Figura. 4.14 Diagrama de contornos del comportamiento del factor de seguridad de las cuñas para la Galería Sur Vetilla1-Subnivel 3, variando direcciones de rumbo.

Fuente: Software Unwedge v 3.0

La **Tabla XCI**, presenta los valores de factor de seguridad obtenidos realizando una variación de $\pm 10^\circ$ a la dirección real de la galería (139°), para esta galería no se tiene cuñas con factores de seguridad menor a 2, sin embargo, al variar las direcciones aumentan su valor numérico.

Tabla XCI Resultados de la variación del factor de seguridad para la Galería Sur-Vetilla 1-Subnivel 3.

Trend	Plunge	Cuñas	Factor de Seguridad	Peso (Ton)	Volumen (m3)
129	0	Superior Izquierda	9.207	0.565	0.181
129	0	Superior Derecha	21.004	0.029	0.009
149	0	Techo (2)	22.26	0.044	0.014
149	0	Superior Derecha (4)	6.93	0.029	0.009

Fuente: Gualacata, J., 2018.

4.1.4. Sector Galería Veta B

La **Tabla XCII**, presenta un resumen de la calidad del macizo rocoso según la valorización geomecánica RMR para las cuatro galerías del sector, así mismo detalla la condición de cada junta referente a la dirección que tiene la excavación.

Tabla XCII Resultados de evaluación geomecánica RMR para la galería Veta B.

SECTOR VETA B					
SUBNIVEL	AREA	FAMILIA / JUNTAS	RMR	CALIDAD	CONDICIÓN
0	GALERIA NORTE	071/44	37-45	III REGULAR	Medio-Muy Desfavorable
		337/70	53	III REGULAR	Muy Favorable

Fuente: Gualacata, J., 2018.

- **Análisis de Cuñas Galería Cortavetas Veta B**

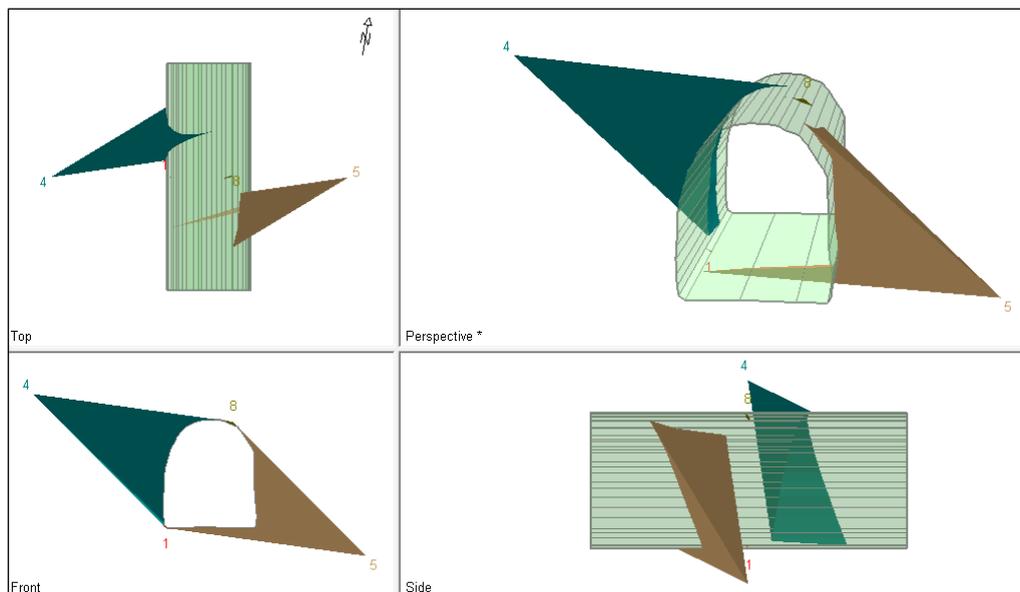


Figura. 4.15 Visualización tridimensional de las cuñas formadas en la Galería Veta B utilizando el software Unwedge, las dimensiones de la labor son de 2 m (ancho) x 2.2 m (alto).

Fuente: Software Unwedge v 3.0

Tabla XCIII Valores determinados mediante el software Rock Data para la Galería Veta B.

Parámetros Rock Data	
RCS	179.7 MPa
RMR	45
GSI	35
mi	20
D	1
Cota	200 m
c	0.598
fi	33.59

Fuente: Gualacata, J., 2018.

Tabla XCIV Especificaciones de las cuñas formadas por la intersección de discontinuidades para la galería Veta b, detalla factor de seguridad y peso de cada una.

Parámetros Unwedge			
RCS	179.7 MPa		
Densidad	2.9833 ton/m ³		
Azimut Galería	350°		
Cuñas	Factor de Seguridad	Peso (Ton)	Volumen (m³)
Superior Izquierda (4)	1.963	4.767	1.6
Inferior Derecha (5)	Estable	2.94	0.987

Fuente: Gualacata, J., 2018.

- **Optimización de rumbo Galería Veta B.**

La **Figura. 4.16**, muestra la variación del factor de seguridad de las cuñas formadas en la galería a medida que se varía el rumbo y buzamiento de esta

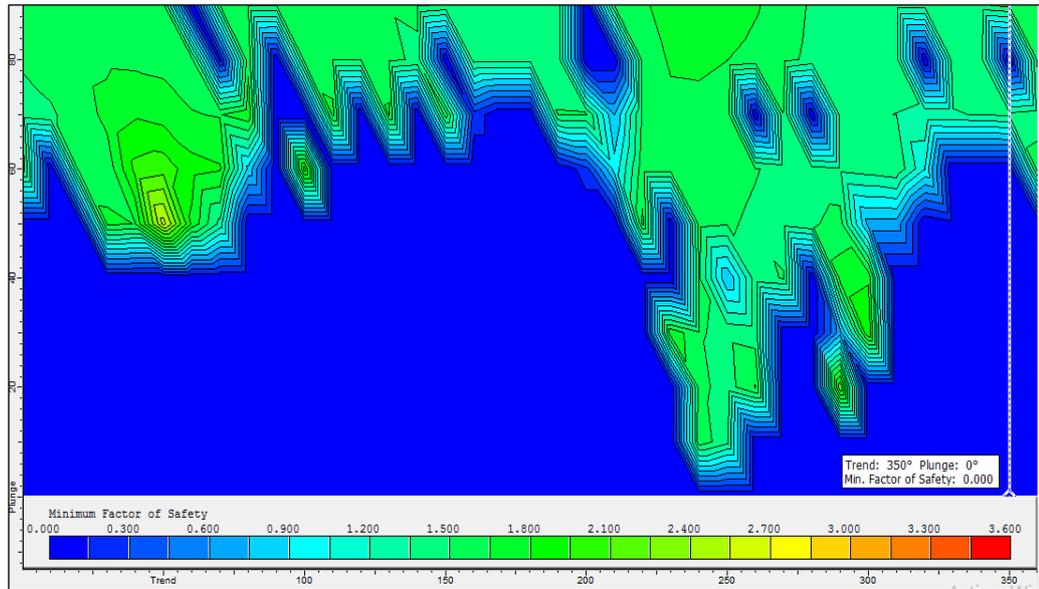


Figura. 4.16 Diagrama de contornos del comportamiento del factor de seguridad de las cuñas para la Galería Veta B, variando direcciones de rumbo.

Fuente: Software Unwedge v 3.0

La **Tabla XCV**, presenta los valores de factor de seguridad obtenidos realizando una variación de $\pm 10^\circ$ a la dirección real de la galería (350°), las principales cuñas de interés de evaluación son las que se presentan en los hastiales de la galería (Superior Izquierda e Inferior Derecha (**ver Figura. 4.15**), se puede evidenciar que la cuña inferior derecha se mantiene estable a cualquier cambio de dirección de la galería, sin embargo, la cuña superior izquierda no presenta cambios en los valores de factor de seguridad, por lo que hay que considerar esta cuña para el sostenimiento.

Tabla XCV Resultados de la variación del factor de seguridad para la Galería Veta B.

Trend	Plunge	Cuñas	Factor de Seguridad	Peso (Ton)	Volumen (m3)
340	0	Superior Izquierda	1.999	4.603	1.545
340	0	Inferior Derecha	Estable	2.854	0.958
360	0	Superior Izquierda	2.001	4.091	1.373
360	0	Inferior Derecha	Estable	2.312	0.776

Fuente: Gualacata, J., 2018.

4.1.5. Sector Frente 11

La **Tabla XCVI**, presenta un resumen de la calidad del macizo rocoso según la valorización geomecánica RMR para las cuatro galerías del sector, así mismo detalla la condición de cada junta referente a la dirección que tiene la excavación.

Tabla XCVI Resultados de evaluación geomecánica RMR para las galerías del sector Frente 11-Subnivel 2.

SECTOR FRENTE 11-Subnivel 2					
SUBNIVEL	AREA	FAMILIA / JUNTAS	RMR	CALIDAD	CONDICION
3	GALERIA NORTE	089/43	57	II REGULAR	Medio
		360/67	59	II REGULAR	Muy Favorable
	GALERIA SUR	085/44	50-57	II REGULAR	Medio-Muy Desfavorable

Fuente: Gualacata, J., 2018.

- **Análisis de Cuñas Galería Norte-Frente 11-Subnivel 2.**

Tabla XCVII Valores determinados mediante el software Rock Data para la Galería Norte Frente 11.

Parámetros Rock Data	
RCS	297.3 MPa
RMR	57
GSI	49
mi	25
D	1
Cota	250 m
c	0.948
fi	43.5

Fuente: Gualacata, J., 2018.

Tabla XCVIII Especificaciones de las cuñas formadas por la intersección de discontinuidades para la galería norte-subnivel 2, sector Frente 11; detalla factor de seguridad y peso de cada una.

Parámetros Unwedge			
RCS	297.3 MPa		
Densidad	2.933 ton/m ³		
Azimut Galería	335°		
Cuñas	Factor de Seguridad	Peso (Ton)	Volumen (m ³)
Superior Izquierda (2)	2.797	7.362	2.47
Inferior Derecha (7)	Estable	4.202	1.41

Fuente: Gualacata, J., 2018.

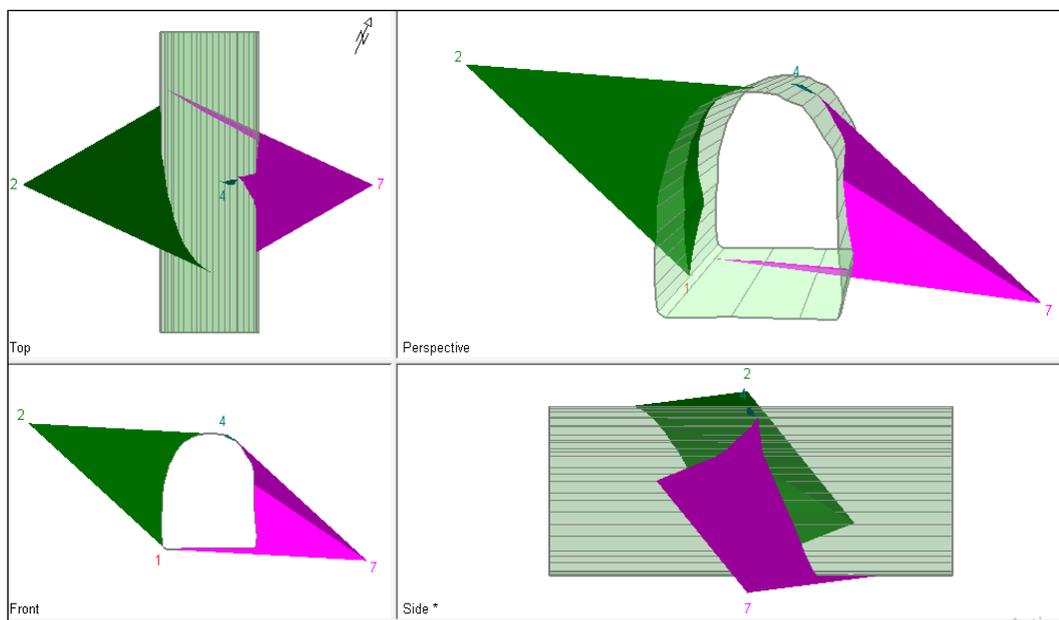


Figura. 4.17 Visualización tridimensional de las cuñas formadas en la Galería Norte-Frente 11 utilizando el software Unwedge, las dimensiones de la labor son de 2.1 m (ancho) x 2.2 m (alto).

Fuente: Software Unwedge v 3.0

- **Optimización de rumbo Galería Norte-Frente 11.**

La **Figura. 4.18**, muestra la variación del factor de seguridad de las cuñas formadas en la galería a medida que se varía el rumbo y buzamiento de esta.

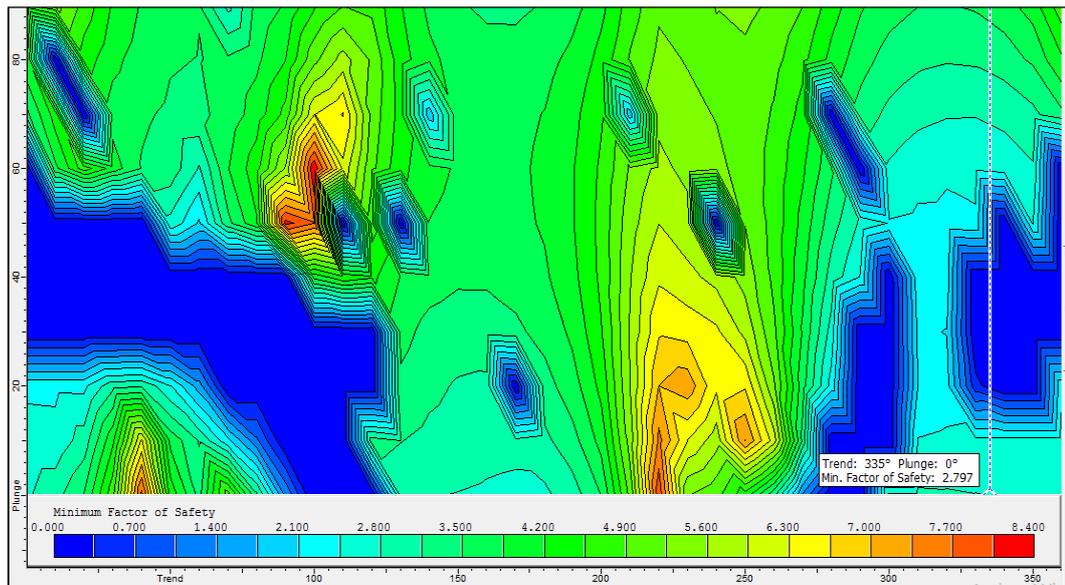


Figura. 4.18 Diagrama de contornos del comportamiento del factor de seguridad de las cuñas para la Galería Norte Frente 11, variando direcciones de rumbo.

Fuente: Software Unwedge v 3.0

La **Tabla XCIX**, presenta los valores de factor de seguridad obtenidos realizando una variación de $\pm 10^\circ$ a la dirección real de la galería (335°), para este caso se analizará el comportamiento de las cuñas que se presentan en los hastiales de la galería (Superior Izquierda e Inferior Derecha *ver Figura. 4.17*), se puede evidenciar que para direcciones al Oeste (325°), el factor de seguridad disminuye su valor, pero no por debajo

de 2; para direcciones más al Este (345°), el valor numérico del factor de seguridad aumenta. Por lo tanto, no se tienen problemas con cuñas inestables al variar su dirección.

Tabla XCIX Resultados de la variación del factor de seguridad para la Galería Norte Frente 11.

Trend	Plunge	Cuñas	Factor de Seguridad	Peso (Ton)	Volumen (m3)
325	0	Superior Izquierda	2.823	7.361	2.47
325	0	Inferior Derecha	Estable	4.128	1.385
345	0	Superior Izquierda	2.77	7.53	2.527
345	0	Inferior Derecha	Estable	4.318	1.449

Fuente: Gualacata, J., 2018.

- **Análisis de Cuñas Galería Sur**

Tabla C Valores determinados mediante el software Rock Data para la Galería Sur-Frente 11.

Parámetros Rock Data	
RCS	296 MPa
RMR	50
GSI	45
Mi	25
D	1
Cota	250 m
C	1.277
Fi	44.92

Fuente: Gualacata, J., 2018.

Tabla CI Especificaciones de las cuñas formadas por la intersección de discontinuidades para la galería sur subnivel 2, sector Frente 11; detalla factor de seguridad y peso de cada una.

Parámetros Unwedge			
RCS	296 MPa		
Densidad	2.9833 ton/m ³		
Azimut Galería	175°		
Cuñas	Factor de Seguridad	Peso (Ton)	Volumen (m ³)
Superior Derecha (4)	1.84	173.01	57.99
Inferior Izquierda (5)	Estable	152.19	51.01

Fuente: Gualacata, J., 2018.

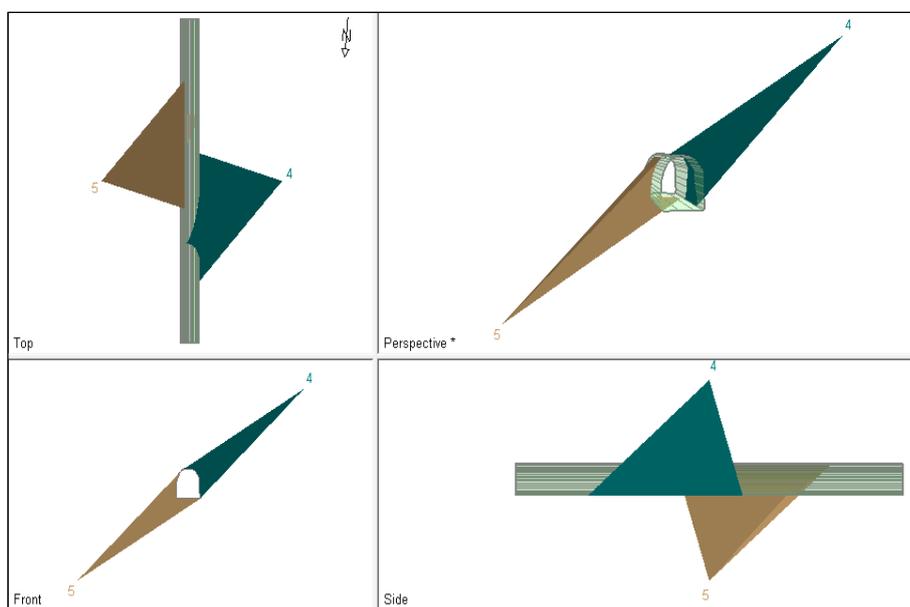


Figura. 4.19 Visualización tridimensional de las cuñas formadas en la Galería Sur-Frente 11 utilizando el software Unwedge, las dimensiones de la labor son de 2 m (ancho) x 2.1 m (alto).

Fuente: Software Unwedge v 3.0

- **Optimización de rumbo Galería Sur-Frente 11.**

La **Figura. 4.20**, muestra la variación del factor de seguridad de las cuñas formadas en la galería a medida que se varía el rumbo y buzamiento de esta.

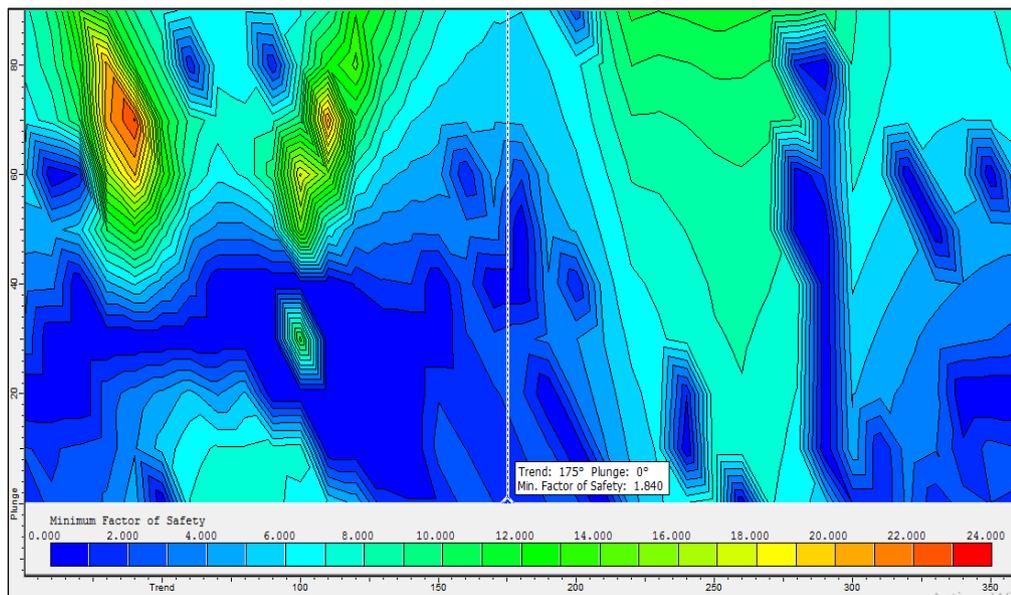


Figura. 4.20 Diagrama de contornos del comportamiento del factor de seguridad de las cuñas para la Galería Sur Frente 11, variando direcciones de rumbo.

Fuente: Software Unwedge v 3.0

La **Tabla CIII**, presenta los valores de factor de seguridad obtenidos realizando una variación de $\pm 10^\circ$ a la dirección real de la galería (175°), para este caso se analizará el comportamiento de las cuñas que se presentan en los hastiales de la galería (Superior Derecha e Inferior Izquierda *ver Figura. 4.19*), se puede evidenciar que la cuña inferior izquierda se mantiene estable para cualquier cambio de dirección, sin

embargo, la cuña superior derecha para direcciones al Oeste (165°), el factor de seguridad su valor, sobrepasando el valor base de 2; para direcciones más al Este (185°), el valor numérico del factor de seguridad aumenta hasta 1.98 por lo que se debería considerar esta cuña para sostenimiento.

Tabla CII Resultados de la variación del factor de seguridad para la Galería Norte Frente 11.

Trend	Plunge	Cuñas	Factor de Seguridad	Peso (Ton)	Volumen (m3)
185	0	Superior Derecha	1.987	87.82	29.439
185	0	Inferior Izquierda	Estable	76.48	25.63
165	0	Superior Derecha	2.196	57.881	19.402
165	0	Inferior Izquierda	Estable	4.318	1.449

Fuente: Gualacata, J., 2018.

4.2. Medidas de sostenimiento para galerías con cuñas inestables.

Con la información obtenida de las cuñas formadas por la intersección de las familias de juntas en cada una de las galerías de nivel, se tiene como resultado cuñas inestables con factor de seguridad menor a 2 en las labores:

Galería Norte y Sur –Subnivel 2-Bocamina, Galería Norte –Subnivel 3-Vetilla, Galería Veta B y Galería Sur-Frente 11.

Para el caso de las galerías de estudio el principal problema de inestabilidad se tiene con bloques o cuñas aislados por lo que solo amerita estabilizarlos con pernos aislados o esporádicos debido a que las excavaciones no son

permanentes y además que la calidad del macizo rocoso esta entre Regular a Buena.

Dentro de los diferentes tipos de pernos de anclaje, los pernos que comúnmente se emplea para sostenimiento en pequeña minería son los pernos de rosca continua que constan básicamente de una barra fabricado en acero grado 75, tuerca de tensión, placa de soporte y cartuchos de cemento el aseguramiento del perno como se presenta en la **Figura. 4.21**, la efectividad del anclaje es de 4.5-5 ton/metro para taladros entre 25-35 mm. Este sistema es de fácil instalación y mayor rendimiento ya que el agente cementante protege de la corrosión y asegura una vida útil mayor en relación con otro tipo de sistema.

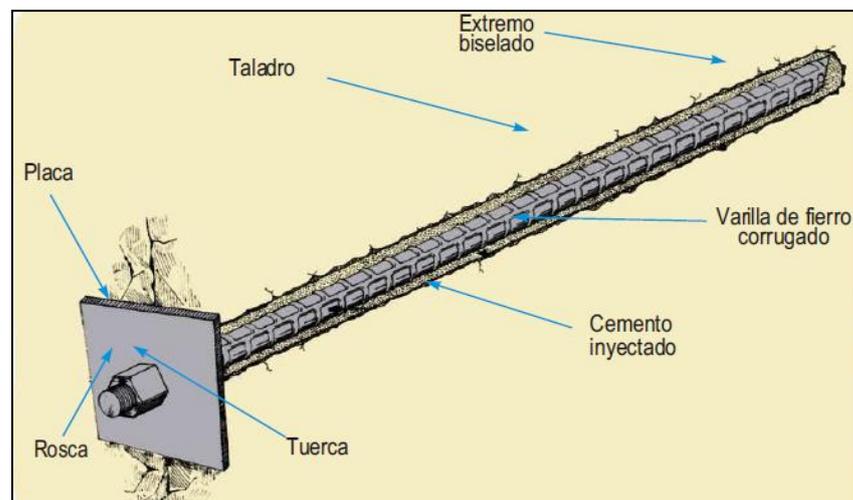


Figura. 4.21 Esquema de los accesorios de un perno de anclaje de rosca continua.

Fuente: (Energía, 2004)

Utilizando el software Unwedge se realizó del modelamiento de este tipo sostenimiento para las cuñas inestables de las siguientes galerías:

4.2.1. Galería Norte Subnivel 3-Vetilla 1

El principal problema de inestabilidad en esta galería se tiene para la cuña formada en el hastial superior izquierdo (**ver Figura. 4.11**), con un factor de seguridad de 1.65 y un peso del bloque de 135.41 toneladas.

Mediante la utilización del software se realizó la modelización del sostenimiento para el bloque inestable de la Galería; se puede evidenciar que empleando tres pernos de anclaje con las especificaciones descritas en la **Tabla CIII**, el factor de seguridad de la cuña aumenta a 2.22, factor que es favorable para considerar el bloque como estable.

La **Figura. 4.22 y 4.23**, presentan una vista isométrica del accionar de los pernos hacia la cuña, se realizó diferentes variaciones de distancia entre pernos teniendo como espaciamiento óptimo 1.5 m.

Tabla CIII Dimensiones y especificaciones del tipo de perno empleado para la Galería Norte-Vetilla 1

ESPECIFICACIONES PERNOS DE ANCLAJE	
Barra de Acero	Grado 75
Resistencia a la Tracción	12 -15 Ton
Diámetro	25 mm
Longitud de Barra	3 m
Tuerca de Fijación	25 mm
Placa de Sujeción	25 mm
Cartucho de Cemento	28 x 300 mm

Fuente: Gualacata, J., 2018.

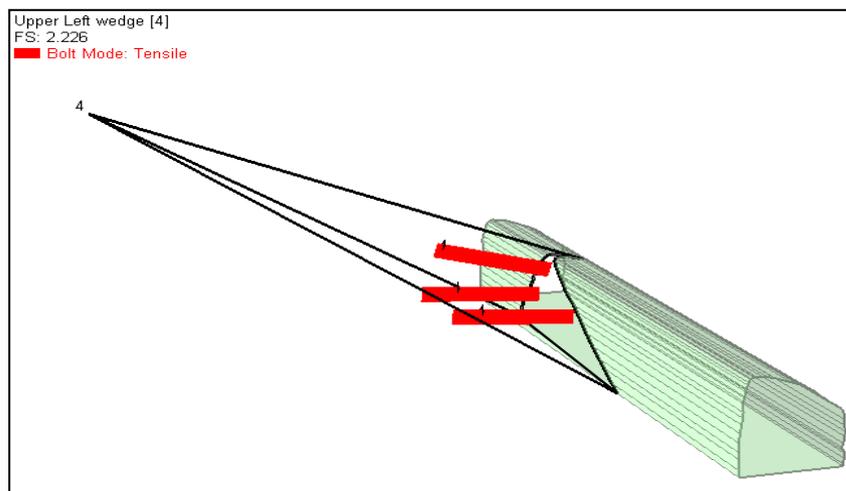


Figura. 4.22 Vista Isométrica de la acción de los pernos de anclaje sobre la cuña del hastial de la Galería Norte-Vetilla 1.

Fuente: Software Unwedge v 3.0

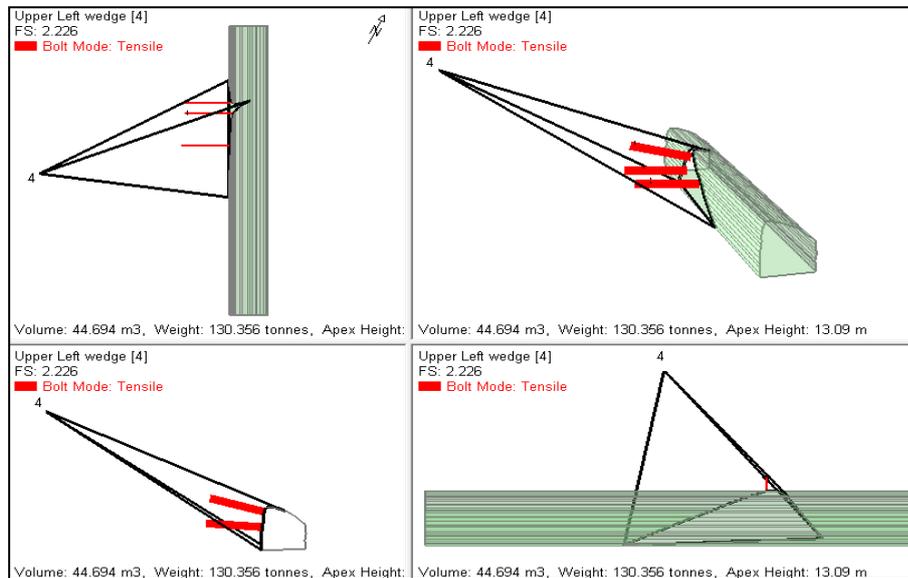


Figura. 4.23 Diferentes planos de vista que presenta la actuación de los pernos de anclaje sobre la Galería Norte-Vetilla 1.

Fuente: Software Unwedge v 3.0

4.2.2. Galería Norte Veta B

El principal problema de inestabilidad en esta galería se tiene para la cuña formada en el hastial superior izquierdo (**ver Figura. 4.15**), con un factor de seguridad de 1.963 con un peso del bloque de 4.67 toneladas.

La **Figura. 4.24 y 4.25**, presentan una vista isométrica del accionar del perno colocado en la cuña inestable, se puede evidenciar que con un solo perno la cuña toma un factor de seguridad de 3.69, este se coloca a una altura 1.2 m

desde el piso de la galería. La **Tabla CIV** presenta las especificaciones del tipo de perno empleado para la modelización en el software.

Tabla CIV Dimensiones y especificaciones del tipo de perno empleado para la Galería Norte-Veta B

ESPECIFICACIONES PERNOS DE ANCLAJE	
Barra de Acero	Grado 75
Resistencia a la Tracción	12 -15 Ton
Diámetro	25 mm
Longitud de Barra	2 m
Tuerca de Fijación	25 mm
Placa de Sujeción	25 mm
Cartucho de Cemento	28 x 300 mm

Fuente: Gualacata, J., 2018.

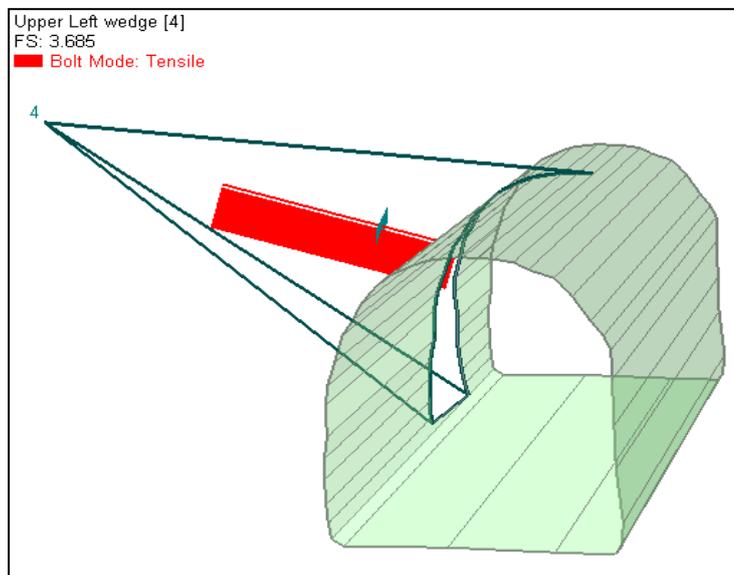


Figura. 4.24 Diferentes planos de vista que presenta la actuación de los pernos de anclaje sobre la Galería Norte-Veta B.

Fuente: Software Unwedge v 3.0

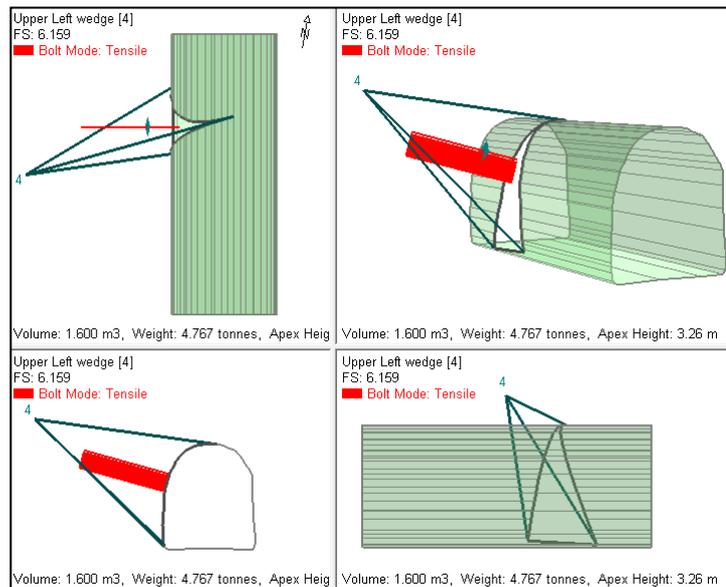


Figura. 4.25 Diferentes planos de vista que presenta la actuación de los pernos de anclaje sobre la Galería Norte-Veta B.

Fuente: Software Unwedge v 3.0

4.2.3. Galería Sur-Frente 11

El principal problema de inestabilidad en esta galería se tiene para la cuña formada en el hastial superior izquierdo (**ver Figura. 4.17**), con un factor de seguridad de 1.84 con un peso del bloque de 173.01 toneladas.

La **Figura. 4.26 y 4.27**, presentan una vista isométrica del accionar del perno colocado en la cuña inestable, se puede evidenciar que, empleando tres pernos de anclaje en la cuña, estos modifican su factor de seguridad a 2.22. Para establecer el número óptimo de pernos se realizó modificaciones en la distancia de espaciamiento entre pernos y la longitud, quedando como mejor combinación las especificaciones que detalla la **Tabla CV**.

Tabla CV Dimensiones y especificaciones del tipo de perno empleado para la Galería Sur-Frente 11

ESPECIFICACIONES PERNOS DE ANCLAJE	
Barra de Acero	Grado 75
Resistencia a la Tracción	12 -15 Ton
Díámetro	25 mm
Longitud de Barra	4 m
Distancia entre Pernos	1.2 m
Tuerca de Fijación	25 mm
Placa de Sujeción	25 mm
Cartucho de Cemento	28 x 300 mm

Fuente: Gualacata, J., 2018.

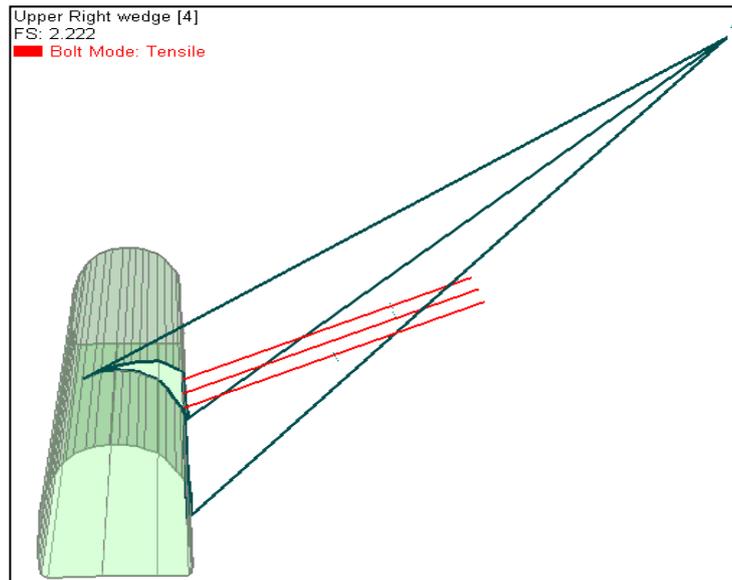


Figura. 4.26 Diferentes planos de vista que presenta la actuación de los pernos de anclaje sobre la Galería Sur-Frente 11.

Fuente: Software Unwedge v 3.0

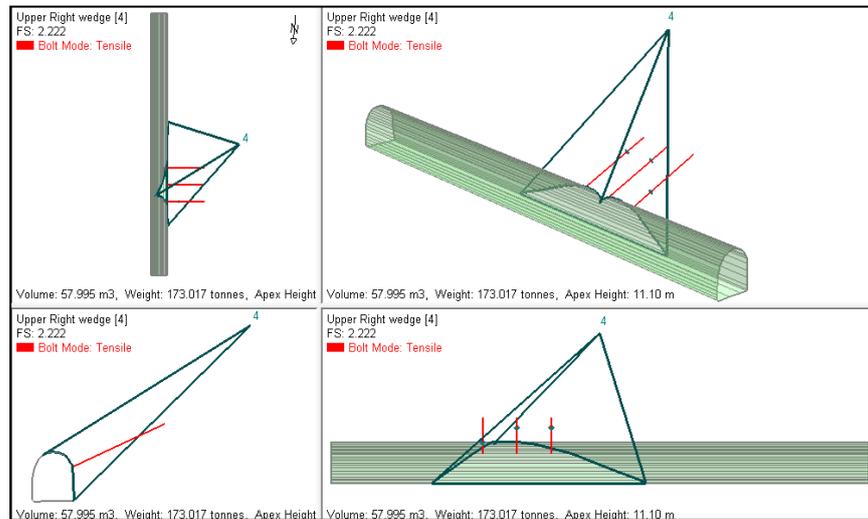


Figura. 4.27 Diferentes planos de vista que presenta la actuación de los pernos de anclaje sobre la Galería Sur-Frente 11.

Fuente: Software Unwedge v 3.0

4.2.4. Galería Norte Subnivel 2-Bocamina

El principal problema de inestabilidad en esta galería se tiene en la cuña de techo (ver **Figura. 4.7**), su factor de seguridad es de 1.518 con un peso de bloque de 1.58 toneladas de roca. Con este antecedente se realiza el modelamiento del sostenimiento a aplicarse mediante el software.

La **Figura. 4.28 y 4.29**, presentan una vista isométrica del accionar del perno sobre la cuña inestable, se puede evidenciar que empleando un perno de anclaje sobre la cuña el factor de seguridad de la cuña cambia a 12.11 (estable). Para determinar la longitud óptima del perno se realizó

iteraciones para evaluar cómo cambia el factor de seguridad de la cuña, se determinó que la mínima longitud que se puede aplicar es de 1.5 m con las especificaciones que detalla la **Tabla CVI**.

Tabla CVI Dimensiones y especificaciones del tipo de perno empleado para la Galería Norte-Sub 2-Bocamina

ESPECIFICACIONES PERNOS DE ANCLAJE	
Barra de Acero	Grado 75
Resistencia a la Tracción	12 -15 Ton
Diámetro	25 mm
Longitud de Barra	1.5 m
Tuerca de Fijación	25 mm
Placa de Sujeción	25 mm
Cartucho de Cemento	28 x 300 mm

Fuente: Gualacata, J., 2018.

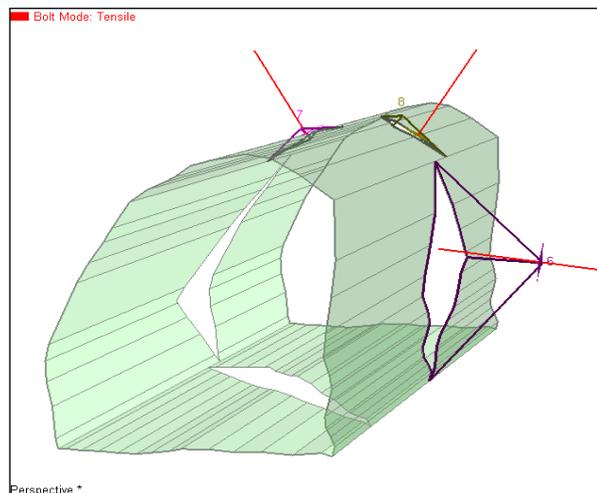


Figura. 4.28 Diferentes planos de vista que presenta la actuación de los pernos de anclaje sobre la Galería Sur-Sub1-Bocamina.

Fuente: Software Unwedge v 3.0

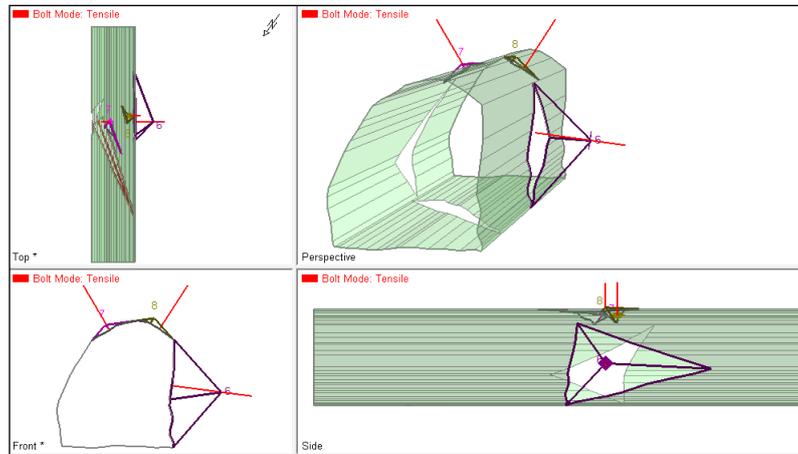


Figura. 4.29 Diferentes planos de vista que presenta la actuación de los pernos de anclaje sobre la Galería Sur-Sub 1-Bocamina.

Fuente: Software Unwedge v 3.0

4.2.5. Galería Sur Subnivel 2-Bocamina

El principal problema de inestabilidad en esta galería se tiene en las cuñas de techo, hastial derecho y hastial izquierdo (ver **Figura. 4.5**), los factores de seguridad son: 0.802, 1.808 y 1.992 respectivamente. Con este antecedente se realiza el modelamiento del sostenimiento a aplicarse mediante el software.

La **Figura. 4.30 y 4.31**, presentan una vista isométrica del accionar de los pernos sobre la cuña inestable, se puede evidenciar que empleando cuatro pernos de anclaje (dos en techo y dos en hastiales), estos modifican el factor de seguridad de la cuña a 5.72, 2.58, y 4.54 respectivamente. Para determinar el número óptimo de pernos a utilizar, se realizó iteraciones

variando la distancia de espaciamento entre pernos y la longitud, quedando como mejor combinación las especificaciones que detalla la **Tabla CVII**.

Tabla CVII Dimensiones y especificaciones del tipo de perno empleado para la Galería Sur-Sub 2-Bocamina

ESPECIFICACIONES PERNOS DE ANCLAJE	
Barra de Acero	Grado 75
Resistencia a la Tracción	12 -15 Ton
Diámetro	25 mm
Longitud de Barra	1.25 m
Distancia entre perno	1.1 m
Tuerca de Fijación	25 mm
Placa de Sujeción	25 mm
Cartucho de Cemento	28 x 300 mm

Fuente: Gualacata, J., 2018.

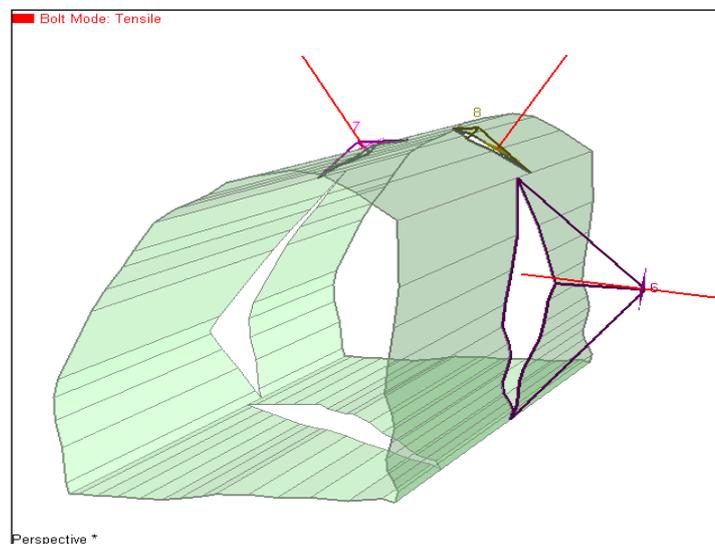


Figura. 4.30 Diferentes planos de vista que presenta la actuación de los pernos de anclaje sobre la Galería Sur-Sub 1-Bocamina.

Fuente: Software Unwedge v 3.0

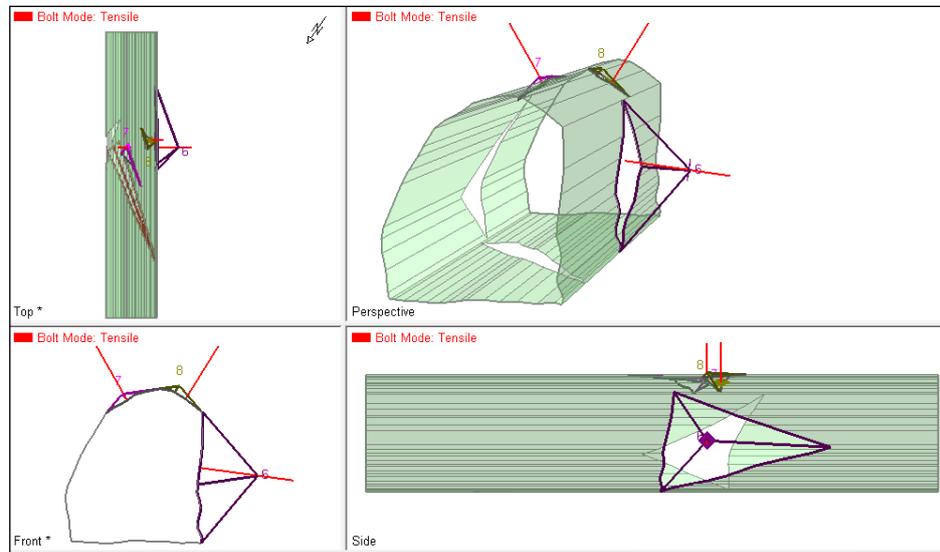


Figura. 4.31 Diferentes planos de vista que presenta la actuación de los pernos de anclaje sobre la Galería Sur-Sub1-Bocamina.

Fuente: Software Unwedge v 3.0

CAPITULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

Se efectuó el mapeo geomecánico de 10 galerías de avance o de nivel de la mina Liga de Oro, analizando alrededor de 40 metros por cada galería, con un total de 350 metros de evaluación geomecánica realizada; en estas se identificó entre 2 a 3 familias de discontinuidades predominantes y otras aleatorias para cada galería, las mismas que mantienen continuidad a lo largo de la longitud del mapeo.

Se valoró la calidad del macizo rocoso de cada galería empleando clasificación geomecánica RMR, Bieniawski, 1989; el 30 % (3) presenta un macizo de tipo II Buena; el 60% (6), presenta un macizo de tipo III de carácter Regular o Medio y el 10% (1) presenta un macizo tipo IV calidad Mala.

Se realizó el modelamiento de las cuñas mediante el software Unwedge, se obtuvo que el sector Bocamina y Vetilla 1-Subnivel 3 (Galería Norte) que presentan cuñas con valores de factor de seguridad por debajo de 2, principalmente en techo y hastiales de las galerías, los valores registrados están entre 0.8 -1.7.

Se plantea como medida de sostenimiento para las cuñas inestables de las galerías, la utilización de pernos de anclaje de rosca continua, distribuidos uniformemente a lo largo de la sección de cada galería, se determina el número de pernos necesarios para tener un factor de seguridad mayor a 2 en cada bloque de roca y garantizar su estabilidad.

RECOMENDACIONES

Se recomienda continuar con la evaluación geomecánica para todas las galerías de la mina con el fin de caracterizar la calidad del macizo rocoso de cada labor y definir posibles zonas inestables.

Se recomienda realizar ensayos de laboratorio (propiedades físicas y resistencia) para muestras de roca, las muestras se deberían tomar por lo menos cada 10 metros de distancia, en lo posible para roca de caja alta y caja baja a fin de caracterizar de mejor forma la matriz rocosa de las galerías.

Se recomienda realizar la valoración de calidad del macizo rocoso utilizando más de un criterio de análisis, esto con el fin poder contrastar varios resultados y establecer una mejor evolución geológica y geomecánica de las galerías de avance.

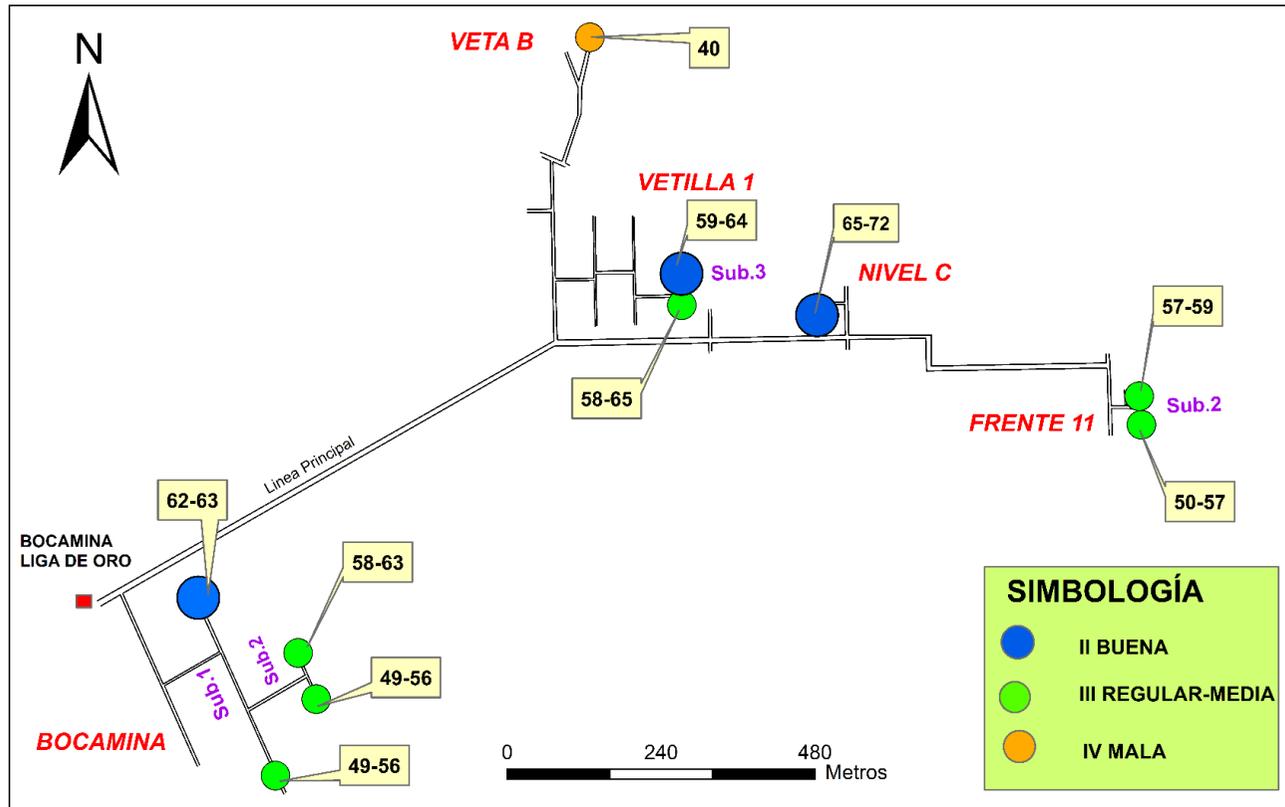
Se recomienda realizar un control a la perforación de las galerías de nivel para mantener un azimut constante, esto para evitar tener variaciones de rumbo y dar origen a la formación de cuñas con alto grado de

inestabilidad como se ha comprobado en ciertos casos de las galerías estudiadas en este proyecto.

ANEXOS

ANEXO A.

Figura A-1 Mapa de calidad del macizo rocoso para las galerías de evaluación geomecánica de la mina liga de oro.

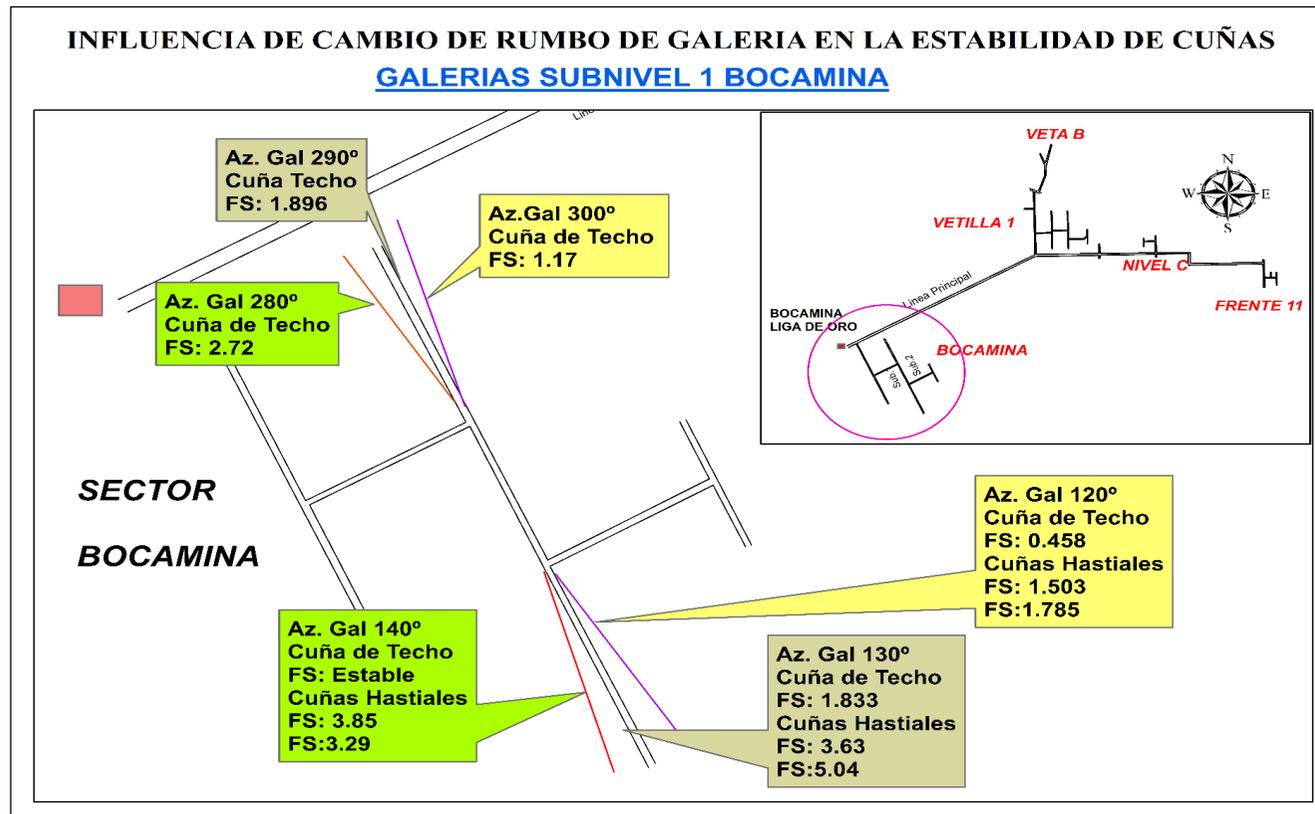


Fuente: Gualacata, J., 2018.

ANEXO B.

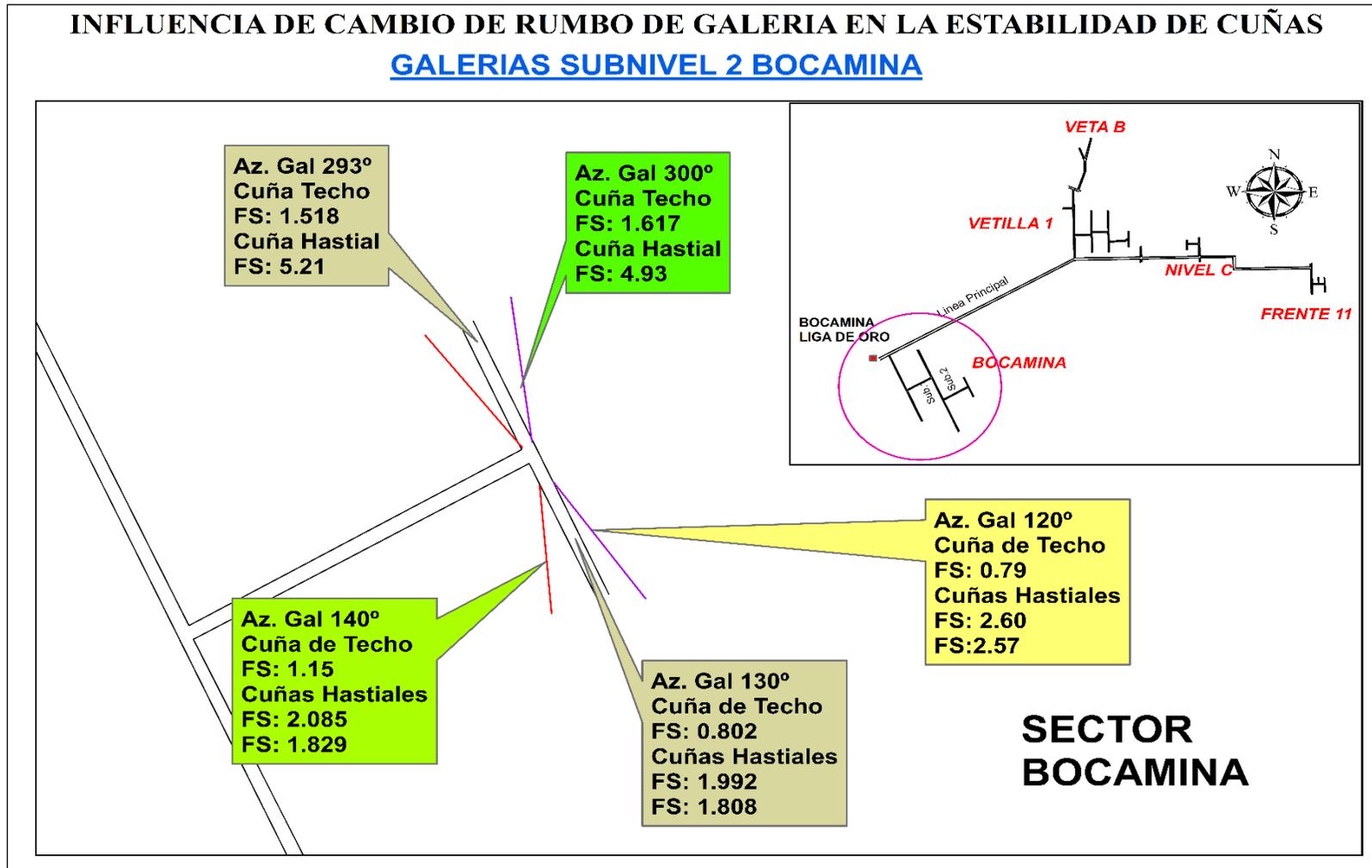
INFLUENCIA DEL CAMBIO DE RUMBO DE LAS GALERIAS SOBRE EL FACTOR DE SEGURIDAD DE LAS CUÑAS INESTABLES, SECTOR BOCAMINA

Figura B-1 Mapa de análisis para las galerías del subnivel 1, variando el rumbo.



Fuente: Gualacata, J., 2018.

Figura B-2 Análisis de estabilidad para las galerías del Subnivel 2, variando el rumbo.

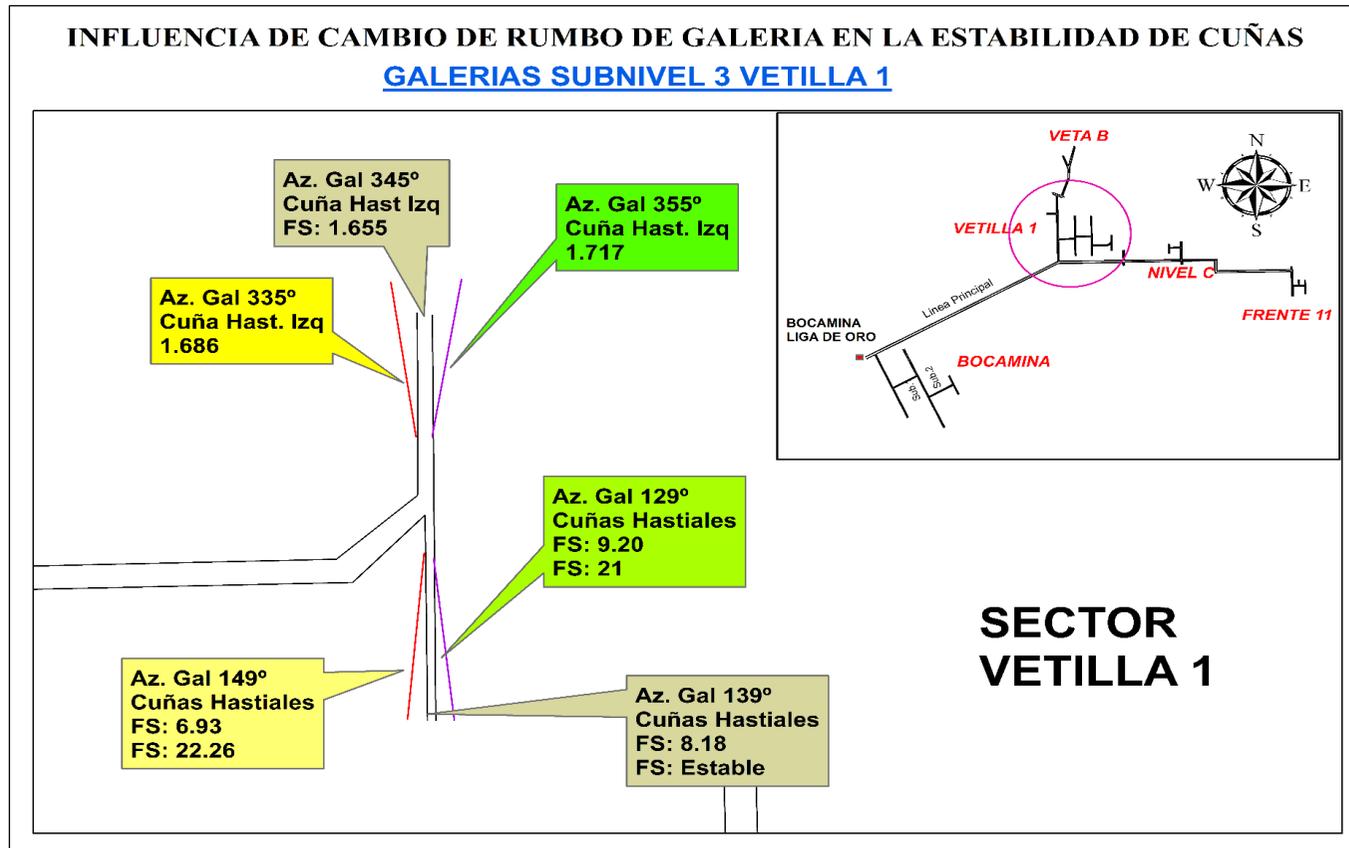


Fuente: Gualacata, J., 2018.

ANEXO C.

INFLUENCIA DEL CAMBIO DE RUMBO DE LAS GALERIAS SOBRE EL FACTOR DE SEGURIDAD DE LAS CUÑAS INESTABLES, SECTOR VETILLA 1, SUBNIVEL 3

Figura C-1 Análisis de estabilidad para las galerías Norte y Sur, sector Vetilla 1, variando el rumbo.



Fuente: Gualacata, J., 2018.

ANEXO D.

INFLUENCIA DEL CAMBIO DE RUMBO DE LAS GALERIAS SOBRE EL FACTOR DE SEGURIDAD DE LAS CUÑAS INESTABLES, GALERIAS VETA B Y NIVEL C

Figura C-1 Análisis de estabilidad para las galerías Veta B y Nivel C, variando el rumbo.

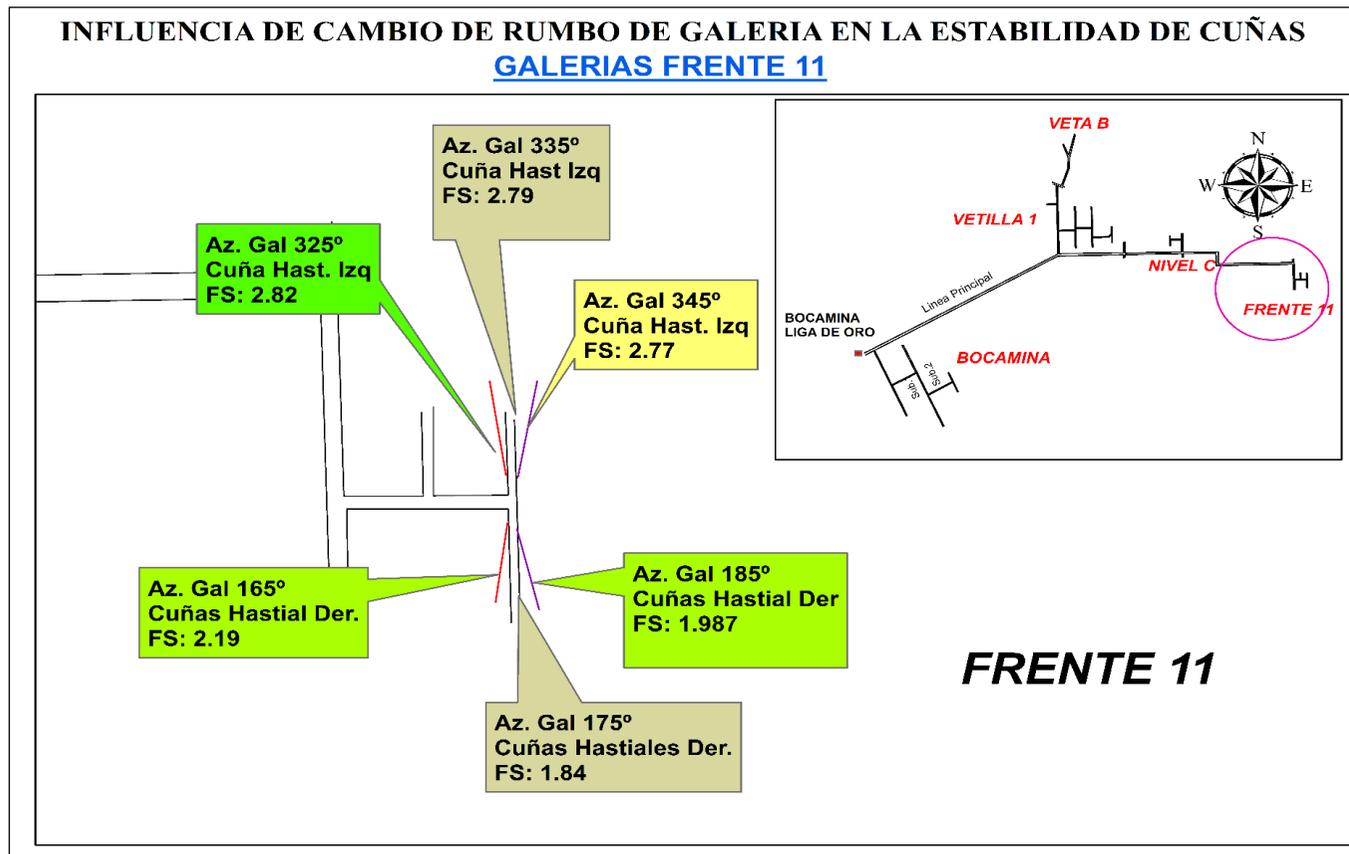


Fuente: Gualacata, J., 2018.

ANEXO E.

INFLUENCIA DEL CAMBIO DE RUMBO DE LAS GALERIAS SOBRE EL FACTOR DE SEGURIDAD DE LAS CUÑAS INESTABLES, GALERIAS FRENTE 11.

Figura E-1 Análisis de estabilidad para las galerías Frente 11, variando el rumbo.

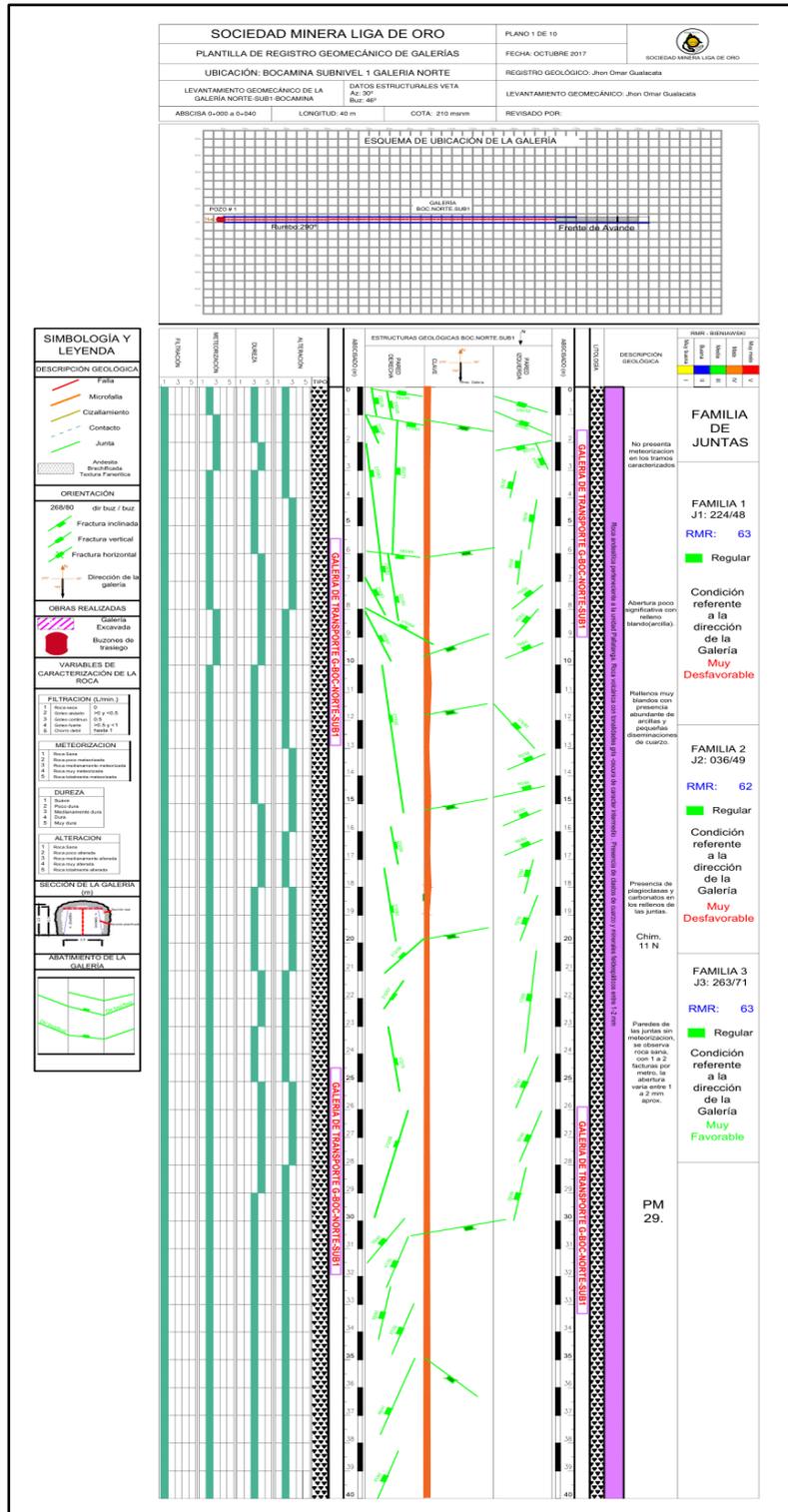


Fuente: Gualacata, J., 2018.

ANEXO F

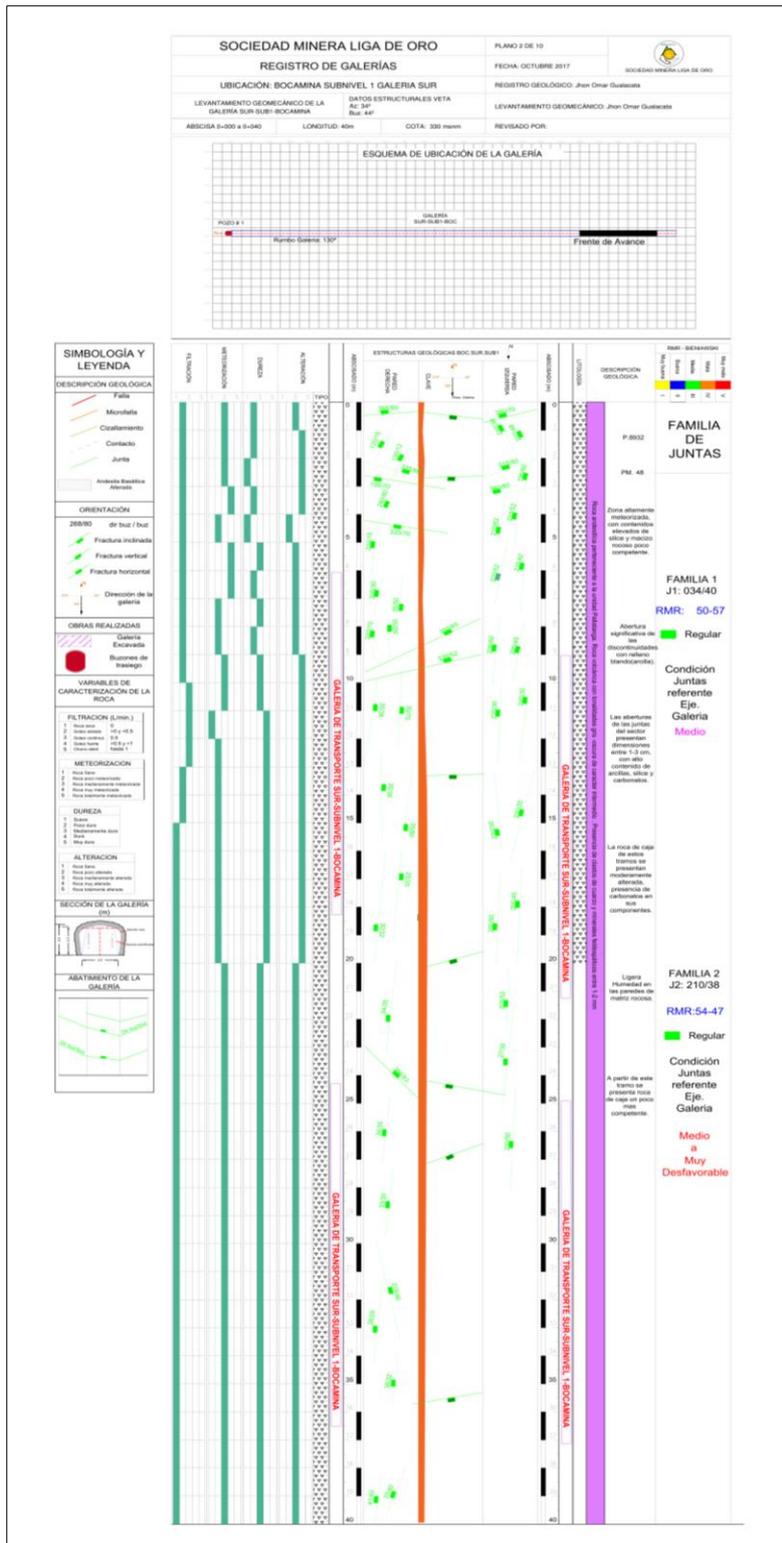
HOJAS GEOMECANICAS Y DE MAPEO ESTRUCTURAL IMPLEMENTADAS EN LA TOMA DE DATOS EN LAS GALERIAS DE ESTUDIO

Figura F-1 HOJA DE MAPEO ESTRUCTURAL Y GEOMECÁNICO PARA LA GALERIA NORTE-SUBNIVEL 1, SECTOR BOCAMINA.



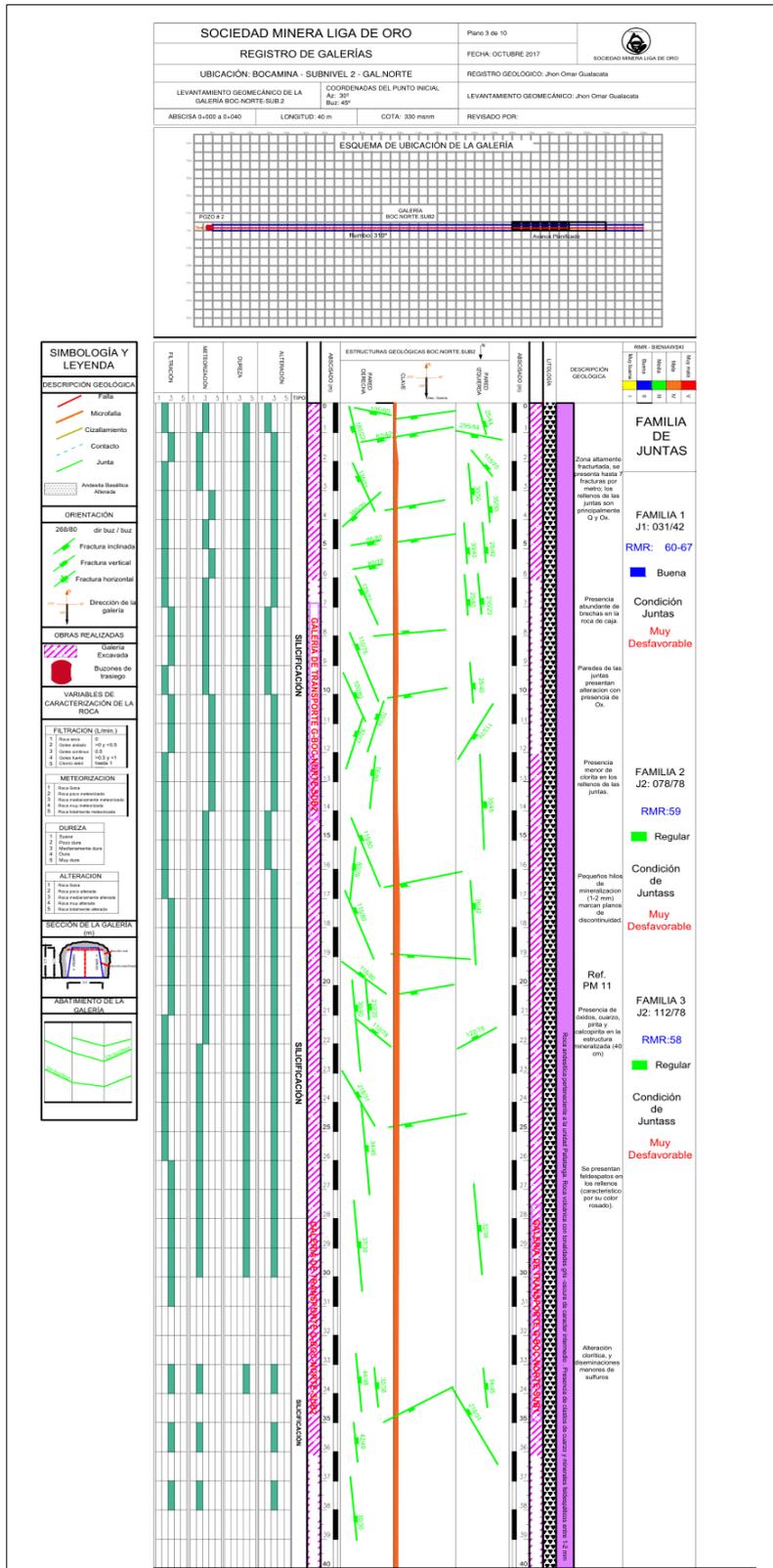
Fuente: Gualacata, J., 2018.

Figura F-2 HOJA DE MAPEO ESTRUCTURAL Y GEOMECÁNICO PARA LA GALERIA SUR-SUBNIVEL 1, SECTOR BOCAMINA.



Fuente: Gualacata, J., 2018.

Figura F-3 HOJA DE MAPEO ESTRUCTURAL Y GEOMECÁNICO PARA LA GALERIA NORTE -SUBNIVEL 2, SECTOR BOCAMINA.



Fuente: Gualacata, J., 2018.

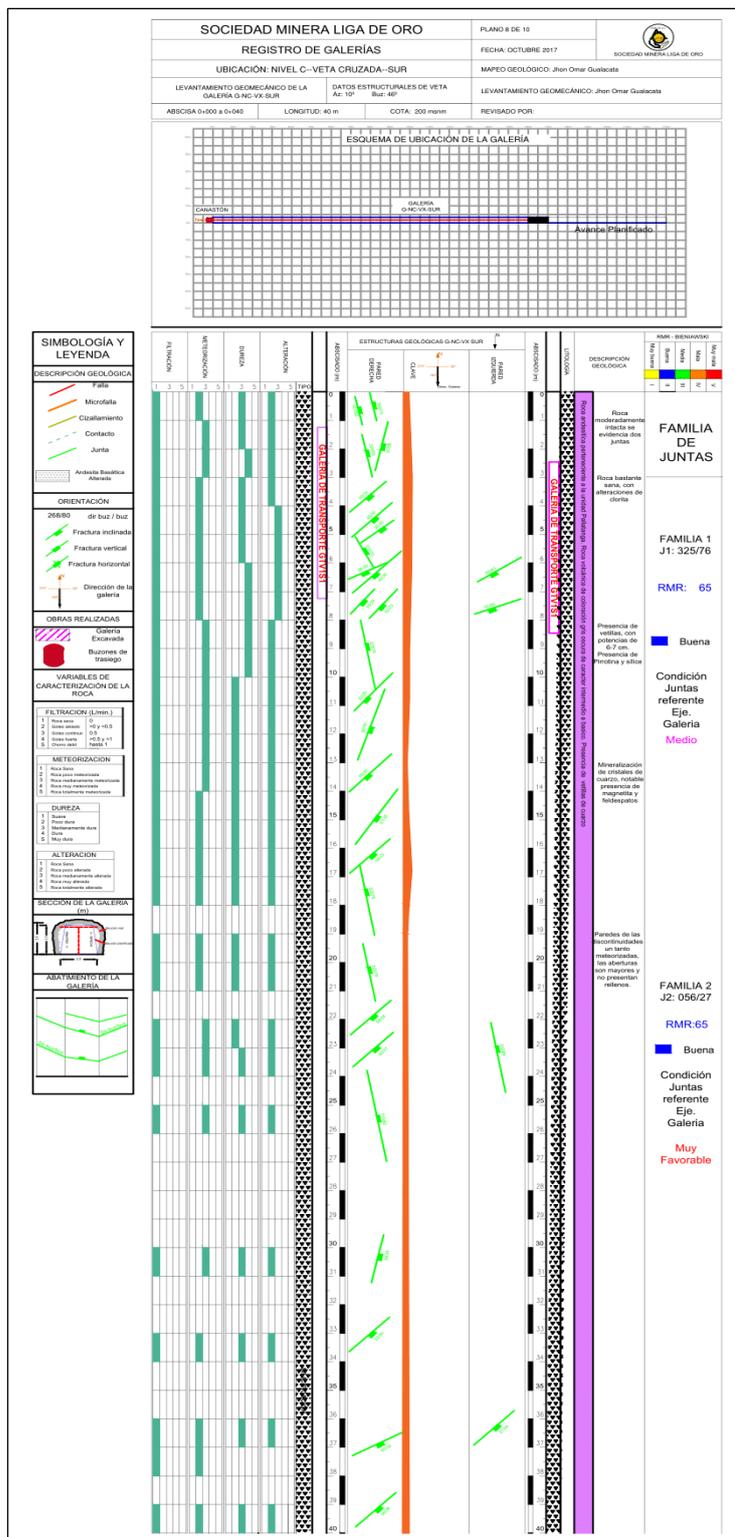
0+011	0+012	J	210	62				2	6	87.81	17		15		2			3			5					2		Q/C		3		15				130	Paralela al túnel	Muy desfavorable	-12		
0+012	0+013	J	170	86				2	5	90.98	20		15		2			3			5					2		Q/C		3		15				130	Perpendicular al túnel	Muy favorable	0		
0+013	0+014	J	215	32				2	5	90.98	20		15		2			3			5					2		Q/C		3		15				130	Paralela al túnel	Medio	-5		
0+014	0+015	J	184	80				2					15		2			3			5					2		Q/C		3		15				130	Paralela al túnel	Muy desfavorable	-12		
0+014	0+015	J	212	40				2					15		2			3			5					2		Q/C		3		15				130	Paralela al túnel	Medio	-5		
0+015	0+016	J	210	50			4						15		2			3			5					2		Q/C		3		15				130	Paralela al túnel	Muy desfavorable	-12		
0+015	0+016	J	45	47			4						15		2			3			5					2		Q/C		3		15				130	Paralela al túnel	Muy desfavorable	-12		
0+015	0+016	J	65	52			4						15		2			3			5					2		Q/C		3		15				130	Paralela al túnel	Muy desfavorable	-12		
0+016	0+017	J	55	49			4						15		2			3			3					2		Q/C		3		15				130	Paralela al túnel	Muy desfavorable	-12		
0+016	0+017	J	220	60			4						15		2			3			3					2		Q/C		3		15				130	Paralela al túnel	Muy desfavorable	-12		
0+017	0+018	J	210	60				2					15		2			3			5					2		Q/C		3		15				130	Paralela al túnel	Muy desfavorable	-12		
0+017	0+018	J	210	50				2					15		2			3			5					2		Q/C		3		15				130	Paralela al túnel	Muy desfavorable	-12		
0+017	0+018	J	10	60				2					15		2			3			5					2		Q/C		3		15				130	Paralela al túnel	Muy desfavorable	-12		
0+017	0+018	J	70	86				2					15		2			3			5					2		Q/C		3						130	Paralela al túnel	Muy desfavorable	-12		
0+018	0+019	J	210	56				2					15		2			3			5					2		Q/C		3			10				130	Paralela al túnel	Muy desfavorable	-12	
0+018	0+019	J	15	70				2					15		2			3			5					2		Q/C		3			10				130	Paralela al túnel	Muy desfavorable	-12	
0+018	0+019	J	220	42				2					15		2			3			5					2		Q/C		3			10				130	Paralela al túnel	Medio	-5	
0+022	0+023	J	230	38				2		7	84.42	17		15		2			3			5					2		Q/C		3			10				130	Paralela al túnel	Medio	-5
0+024	0+025	J	39	43				2		7	84.42	17		15		2			3			5					2		Q/C		3			10				130	Paralela al túnel	Medio	-5
0+025	0+026	J	250	46				2					15		2			3			5						2		Q/C		3			10				130	Paralela al túnel	Muy desfavorable	-12
0+025	0+026	J	330	42				2					15		2			3			5						2		Q/C		3			10				130	Perpendicular al túnel	Favorable	-2
0+029	0+030	J	40	40				2		7	84.42	17		15		2			3			5					2		Q/C		3			10				130	Paralela al túnel	Medio	-5
0+032	0+033	J	32	41				2					15		2			3			5						2		Q/C		3			10				130	Paralela al túnel	Medio	-5
0+032	0+033	J	210	36				2					15		2			3			5						2		Q/C		3			10				130	Paralela al túnel	Medio	-5
0+034	0+035	J	220	42				2		7	84.42	17		15		2			3			5					2		Q/C		3			10				130	Paralela al túnel	Medio	-5
0+038	0+039	J	225	47				2					15		2			3			5						2		Q/C		3			10				130	Paralela al túnel	Muy desfavorable	-12
0+038	0+039	J	235	28				2		7	84.42	17		15		2			3			5					2		Q/C		3			10				130	Paralela al túnel	Medio	-5
0+038	0+039	J	10	50				2					15		2			3			5						2		Q/C		3			10				130	Paralela al túnel	Muy desfavorable	-12

Fuente: Gualacata, J., 2018.

Tabla F-5 PLANTILLA GEOMECANICA DE CAMPO PARA LA GALERIA VETA CRUZADA, SECTOR NIVEL C.

HOJA GEOM. Nº 4		GALERIA: NIVEL C-VETA CRUZADA										LEYENDA										Resistencia a partir de índices de campo												
												DATOS ESTRUCTURALES VETA: Az: 10º Buz: 46º					COTA: Z: 450 m		Levantado por: Jhon Omar Gualacata Az. Eje Labor: 110º			Tipo de Plano E Estratificación S Esquistosidad J Juntas F Fallas B Bandeado		Rellenos C Arcillas y l Óx Óxidos S Arenas Q Cuarzo G Gravas Cc Carbonatos B Brechas F Feldespatos M Milonitas Ma Miner. Arcillas						R0 Se puede marcar con la uña.	R1 Al golpear con la punta del martillo la roca se desmenuza.	R2 Al golpear con la punta del martillo se producen ligeras marcas	R3 Con un golpe fuerte de martillo puede fracturarse.	R4 Se requiere más de un golpe del martillo para fracturarla.
		AVANCES	Estructuras		1.RCS (MPa)				2. RQD		3.SEPARACIÓ N DISCON.				4. ESTADOS DE LAS DISCONTINUIDADES										5.AGUA FREÁTICA					Dirección del Eje del Túnel	Posición de Junta referente a la dirección de la Galería	Condición de la junta según Bieniawski	Factor de Corrección	
Desde	Hasta		TIPO DE ESTRUCTURA (1)	DIRECCIÓN DE BUZAMIENTO (º)		BUZAMIENTO (º)		Valoración		PERSISTENCIA		ABERTURA		RUGOSIDAD		RELLENO				ALTERACIÓN			Naturaleza del Relleno											
								RQD= 100e ^{-(0.1A)* (0.1A+1)}																										
0+000	0+001	J	320	74		7			4	93.8	20		10	6		3		5				3		Q/F	5		15			110	Perpendicular al túnel	Muy favorable	0	
0+000	0+001	J	321	72		7			4	93.8	20		10	6		3		5				3		Q/C	5		15			110	Perpendicular al túnel	Muy favorable	0	
0+000	0+001	E	10	46	12				4	93.8	20		8	4		3					3		Q/F		3	15			110	Paralela al túnel	Muy desfavorable	-12		
0+001	0+002	J	56	18	12				4	93.8	20		8	6		3		5				3		Q/C	5		15			110	Paralela al túnel	Muy Desfavorable	-12	
0+001	0+002	E	15	40	12				4	94	20		8	6		3					3		Q/F		3	15			110	Paralela al túnel	Medio	-5		
0+002	0+003	J	320	62	12				4	94	20		8	6		3		5				3		Q/C	5		15			110	Perpendicular al túnel	Muy favorable	0	
0+002	0+003	E	16	50	12				5	91	20		8	4		3					3		Q/F		3	15			110	Paralela al túnel	Muy desfavorable	-12		
0+003	0+004	J	50	24		7			5	91	20		8	6		3		5				3		Q/C	5		15			110	Paralela al túnel	Medio	-5	
0+003	0+004	E	12	45		7			5	91	20		8	4		5					3		Q/C		3	15			110	Paralela al túnel	Medio	-5		
0+004	0+005	J	52	20		7			5	91	20		8	6		5		5				3		Q/F	5		15			110	Paralela al túnel	Muy Desfavorable	-12	
0+004	0+005	J	52	30	12				5	91	20		8	6		5		5				3		Q/C	5		15			110	Paralela al túnel	Medio	-5	
0+004	0+005	E	13	45	12				3	96	20		8	4		3					1		5		Q/F		3	15			110	Paralela al túnel	Medio	-5
0+005	0+006	J	310	70	12				3	96	20		8	6		3		5				3		Q/C	5		15			110	Perpendicular al túnel	Muy favorable	0	
0+005	0+006	E	12	45		7			3	96	20		8	4		3					1		5		Q/C		3	15			110	Paralela al túnel	Medio	-5
0+006	0+007	J	58	30	12				3	96	20		8	6		3		5				3		Q/F	5		15			110	Paralela al túnel	Medio	-5	
0+006	0+007	J	40	30	12				3	96	20		8	6		5		5				3		Q/C	5		15			110	Paralela al túnel	Medio	-5	
0+006	0+007	E	10	48	12				3	96	20		8	4		5					1		5		Q/C		3	15			110	Paralela al túnel	Muy desfavorable	-12

Figura F-5 HOJA DE MAPEO ESTRUCTURAL Y GEOMECÁNICO PARA LA GALERIA NIVEL C-VETA CRUZADA

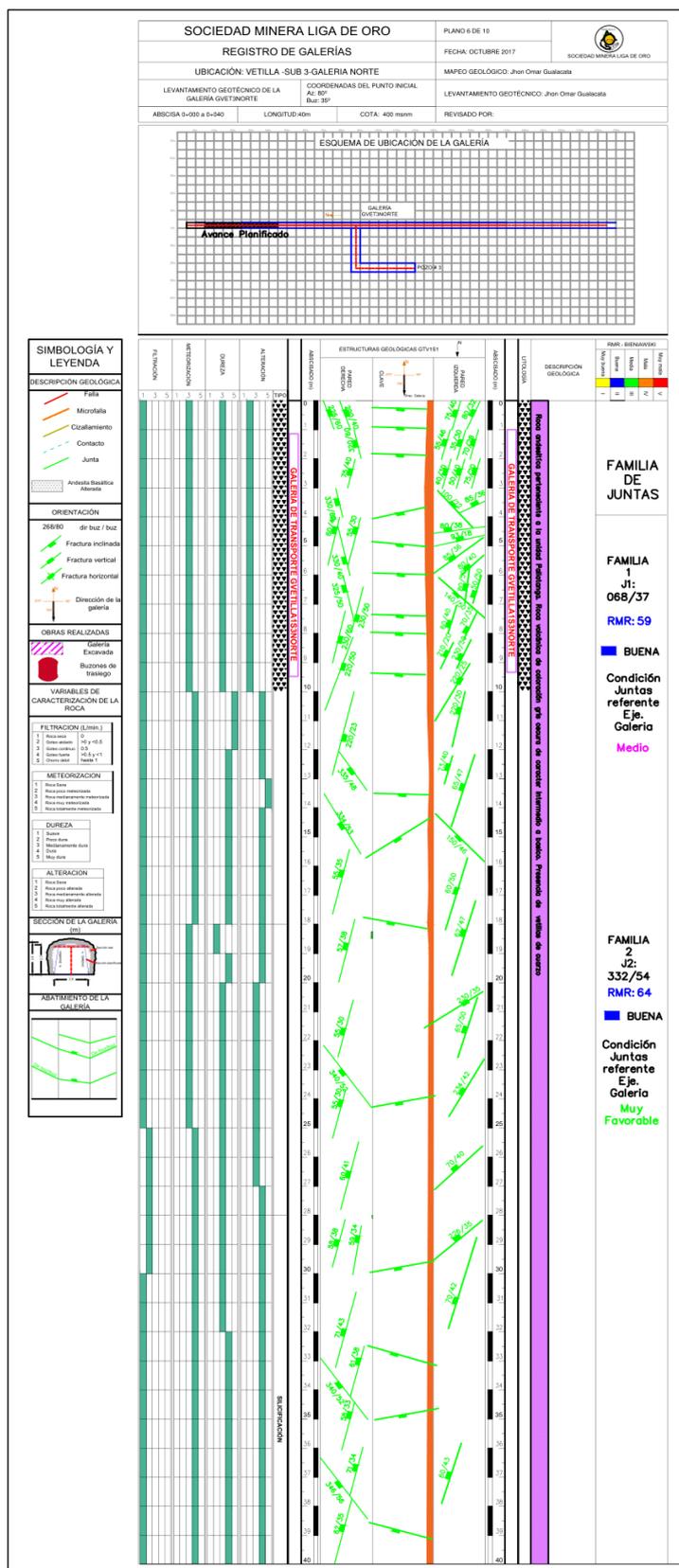


Fuente: Gualacata, J., 2018.

0+008	0+009	J	230	60			4					8	4			5			5			2			Q/F	5		15				345	Paralela al túnel	Muy desfavorable	-12	
0+008	0+009	J	230	30			4			5	91	20	8	4			5			5			2			Q/F	5		15				345	Paralela al túnel	Medio	-5
0+008	0+009	J	210	20			4						8	4			5			5			2			Q/F	5		15				345	Perpendicular al túnel	Desfavorable	-10
0+009	0+010	J	220	25			4						8	4			5			5			2			Q/F	5		15				345	Paralela al túnel	Medio	-5
0+009	0+010	J	220	50			7			4	94	20	8	4			5			5			3			Q/F	5		15				345	Paralela al túnel	Muy desfavorable	-12
0+010	0+011	J	220	30			7			4	94	20	8		2		5			5			3			Q/F	5		15				345	Paralela al túnel	Medio	-5
0+011	0+012	J	220	23			7			4	94	20	8		2		5			5			2			Q/F	3		15				345	Paralela al túnel	Medio	-5
0+012	0+013	J	335	48			4						8		2		5			5			2			Q/F	3		15				345	Perpendicular al túnel	Muy favorable	0
0+012	0+013	J	73	40			7			3	96	20	8		2		5			5			2			Q/F	3		15				345	Paralela al túnel	Medio	-5
0+012	0+013	J	65	47			7						8	4			5			5			2			Q/F	3		15				345	Paralela al túnel	Muy desfavorable	-12
0+014	0+015	J	334	53			7			3	96.3	20	8	4			5			5			2			Q/F	3		15				345	Perpendicular al túnel	Muy favorable	0
0+015	0+016	J	150	46			7			3	96.3	20	8		2		5			5			3			Q/F	3		15				345	Perpendicular al túnel	Muy favorable	0
0+016	0+017	J	55	35			4			4	93.8	20	8	4			5			5			3			Q/F	3		15				345	Paralela al túnel	Medio	-5
0+016	0+017	J	60	50			7						8	4			5			5			3			Q/F	3		15				345	Paralela al túnel	Muy desfavorable	-12
0+018	0+019	J	57	38			7			4	93.8	20	8	4			5			5			3			Q/F	3		15				345	Paralela al túnel	Medio	-5
0+018	0+019	J	62	47			7						8	4			5			5			3			Q/F	3		15				345	Paralela al túnel	Muy desfavorable	-12
0+021	0+022	J	55	30			7			4	93.8	20	8	4			5			5			3			Q/F	3		15				345	Paralela al túnel	Medio	-5
0+021	0+022	J	65	50			7						8	4			5			5			3			Q/F	3		15				345	Paralela al túnel	Muy desfavorable	-12
0+021	0+022	J	230	35			7						8	4			5			5			2			Q/F	3		15				345	Paralela al túnel	Medio	-5
0+022	0+023	J	340	52			7			4	93.8	20	8	4			5			5			2			Q/F	3		15				345	Perpendicular al túnel	Muy favorable	0
0+023	0+024	J	234	42			7			3	96.3	20	8	4			5			5			2			Q/F	5		15				345	Paralela al túnel	Medio	-5
0+024	0+025	J	55	30			7			3	96.3	20	8	4			5			5			2			Q/F	5		15				345	Paralela al túnel	Medio	-5
0+026	0+027	J	60	41			7			3	96.3	20	8	4			5			5			2			Q/F	5		15				345	Paralela al túnel	Medio	-5
0+026	0+027	J	70	40			7						8	4			5			5			2			Q/F	5		15				345	Paralela al túnel	Medio	-5
0+028	0+029	J	58	38			7			4	93.8	20	8	4			5			5			3			Q/F	5		15				345	Paralela al túnel	Medio	-5
0+028	0+029	J	59	34			7						8	4			5			5			3			Q/F	5		15				345	Paralela al túnel	Medio	-5
0+028	0+029	J	226	35			7						8	4			5			5			3			Q/F	5		15				345	Paralela al túnel	Medio	-5
0+030	0+031	J	70	42			7			4	93.8	20	8	4			5			5			3			Q/F	5		15				345	Paralela al túnel	Medio	-5
0+031	0+032	J	71	43			7			4	93.8	20	8	4			5			5			3			Q/F	5		15				345	Paralela al túnel	Medio	-5
0+033	0+034	J	61	38			7			4	93.8	20	8	4			5			5			3			Q/F	5		15				345	Paralela al túnel	Medio	-5
0+033	0+034	J	340	52			7						8	4			5			5			3			Q/F	5		15				345	Perpendicular al túnel	Muy favorable	0
0+035	0+036	J	58	33			7			4	93.8	20	8	4			5			5			3			Q/F	5		15				345	Paralela al túnel	Medio	-5
0+036	0+037	J	71	34			7						8	4			5			5			3			Q/F	5		15				345	Paralela al túnel	Medio	-5
0+036	0+037	J	346	56			7			4	93.8	20	8	4			5			5			2			Q/F	5		15				345	Perpendicular al túnel	Muy favorable	0
0+036	0+037	J	60	43			7						8	4			5			5			2			Q/F	5		15				345	Paralela al túnel	Medio	-5
0+039	0+040	J	62	35			7			4	93.8	20	8	4			5			5			2			Q/F	5		15				345	Paralela al túnel	Medio	-5

Fuente: Gualacata, J., 2018.

Figura F-6. HOJA DE MAPEO ESTRUCTURAL Y GEOMECÁNICO PARA GALERIA NORTE SUBNIVEL 3-VETILLA 1

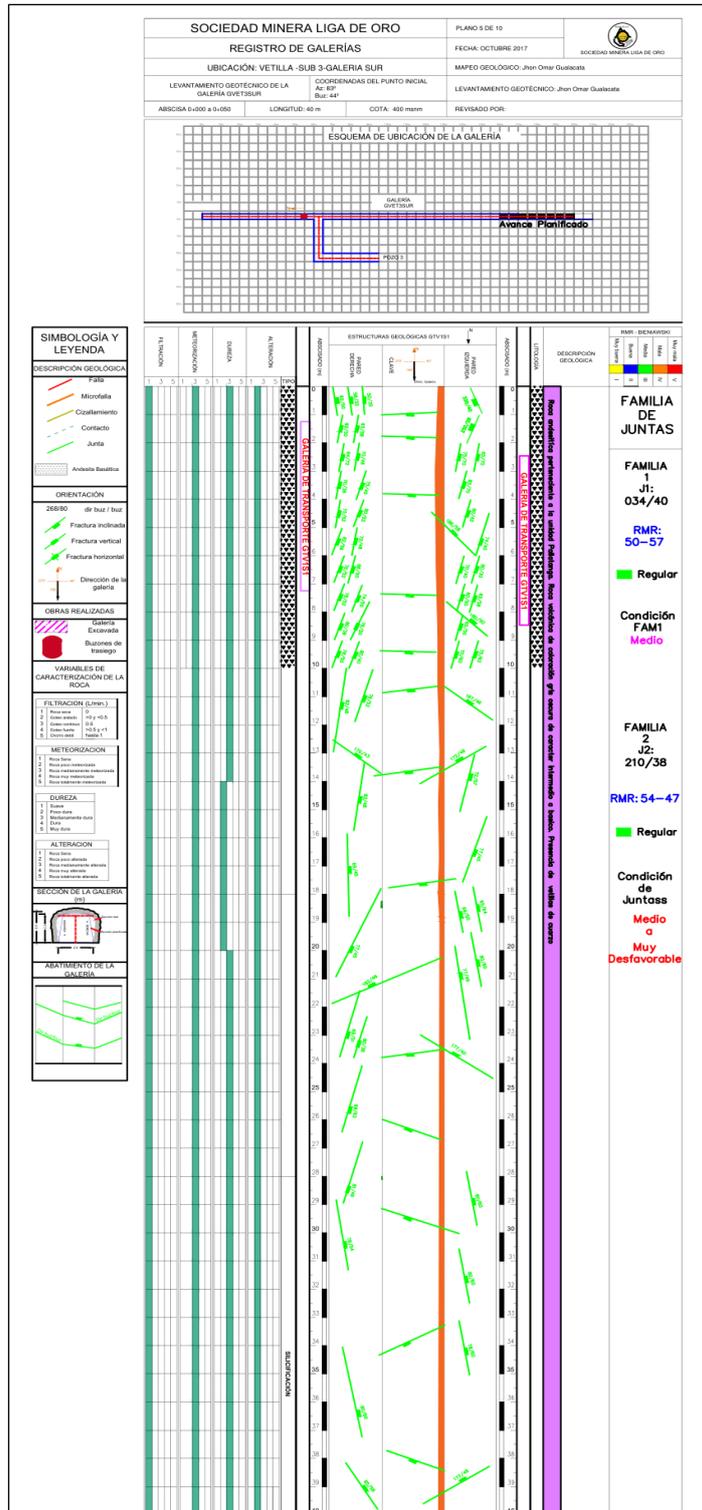


Fuente: Gualacata, J., 2018.

Tabla F-7 PLANTILLA GEOMECANICA DE CAMPO PARA LA GALERIA SUR-SUBNIVEL 3, SECTOR VETILLA 1.

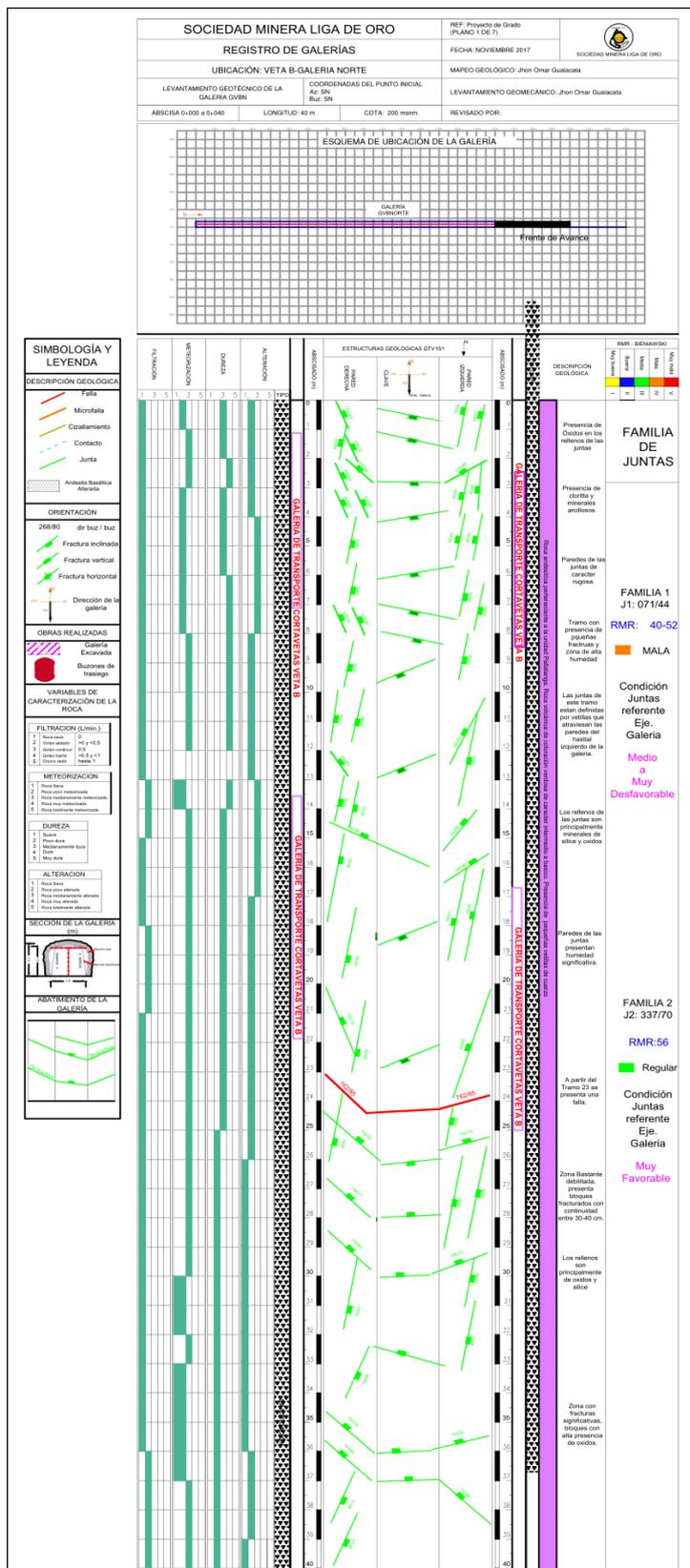
HOJA GEOM. Nº 6		GALERIA: VETILLA 1-SUB 3-SUR										LEYENDA										Resistencia a partir de índices de campo																	
		DATOS ESTRUCTURALES VETA:					COTA:		Levantado por:			Tipo de Plano		Rellenos						R0																			
		Az: 50º		Buz: 40º			Z: 400 m		Jhon Omar Gualacata			E Estratificación		C Arcillas y l		Óx Óxidos		R1		R2		R3		R4		R5		R6											
Nº		6		6		6		6		6		6		6		6		6		6		6		6		6													
AVANCES		Estructuras		1.RCS (MPa)					2. RQD		3.SEPARACIÓ N DISCON.		4. ESTADOS DE LAS DISCONTINUIDADES										5.AGUA FREÁTICA					Dirección del Eje del Túnel	Posición de Junta referente a la dirección de la Galería	Condición de la Junta según Bieniawski	Factor de Corrección								
		TIPO DE ESTRUCTURA (1)		DIRECCIÓN DE BUZAMIENTO (º)		BUZAMIENTO (º)		Fracturas/metro		Valoración		PERSISTENCI A		ABERTURA		RUGOSIDAD		RELLENO				ALTERACIÓN		5.AGUA FREÁTICA															
		Desde	Hasta	15	12	7	4	2	20	15	10	8	6	4	2	1	0	6	5	3	1	0	6	4	2	2	0					6	5	3	1	0	15	10	7
0+000	0+001	J	50	50		7				8	4					3					4															139	Paralela al túnel	Muy desfavorable	-12
0+000	0+001	J	58	32		7				10						3					4															139	Paralela al túnel	Medio	-5
0+000	0+001	J	50	30		7				10						3					4															139	Paralela al túnel	Medio	-5
0+000	0+001	J	330	40		4				10						3					4															139	Perpendicular al túnel	Favorable	-2
0+001	0+002	J	60	50		4				10						3					4															139	Paralela al túnel	Muy desfavorable	-12
0+001	0+002	J	65	58		4				10						3					4															139	Paralela al túnel	Muy desfavorable	-12
0+001	0+002	J	250	28		4				10						3					4															139	Paralela al túnel	Medio	-5
0+001	0+002	J	64	72		7				8	4					3					6															139	Paralela al túnel	Muy desfavorable	-12
0+002	0+003	J	70	48		7				8	4					3					3															139	Paralela al túnel	Muy desfavorable	-12
0+002	0+003	J	65	70		7				8	4					3					4															139	Paralela al túnel	Muy desfavorable	-12
0+002	0+003	J	75	60		7				10						3					2															139	Paralela al túnel	Muy desfavorable	-12
0+003	0+004	J	70	38		7				10						3					2															139	Paralela al túnel	Medio	-5
0+003	0+004	J	75	40		4				10						3					2															139	Paralela al túnel	Medio	-5
0+003	0+004	J	85	10		7				10						3					6															139	Paralela al túnel	Muy Desfavorable	-12
0+004	0+005	J	80	52		7				10						3					6															139	Paralela al túnel	Muy desfavorable	-12
0+004	0+005	J	75	50		7				10						3					6															139	Paralela al túnel	Muy desfavorable	-12
0+004	0+005	J	80	42		7				10						3					4															139	Paralela al túnel	Medio	-5
0+005	0+006	J	82	56		4				10						3					4															139	Paralela al túnel	Muy desfavorable	-12
0+005	0+006	J	70	40		4				10						5					3															139	Paralela al túnel	Medio	-5
0+005	0+006	J	74	40		4				10						5					6															139	Paralela al túnel	Medio	-5
0+005	0+006	J	186	58		4				10						5					3															139	Paralela al túnel	Muy desfavorable	-12
0+006	0+007	J	76	52		4				10						5					3															139	Paralela al túnel	Muy desfavorable	-12
0+006	0+007	J	86	50		4				10						5					3															139	Paralela al túnel	Muy desfavorable	-12
0+006	0+007	J	80	30		4				10						5					6															139	Paralela al túnel	Medio	-5
0+006	0+007	J	70	40		4				10						5					3															139	Paralela al túnel	Medio	-5
0+007	0+008	J	78	52		7				10						5					3															139	Paralela al túnel	Muy desfavorable	-12
0+007	0+008	J	74	50		7				10						5					3															139	Paralela al túnel	Muy desfavorable	-12
0+007	0+008	J	65	58		7				10						5					3															139	Paralela al túnel	Muy desfavorable	-12
0+007	0+008	J	60	50		7				10						5					3															139	Paralela al túnel	Muy desfavorable	-12

Figura F-7 HOJA DE MAPEO ESTRUCTURAL Y GEOMECÁNICO PARA LA GALERIA SUR SUBNIVEL 3, SECTOR VETILLA 1



Fuente: Gualacata, J., 2018.

Figura F-9 HOJA DE MAPEO ESTRUCTURAL Y GEOMECÁNICO PARA LA GALERIA VETA B



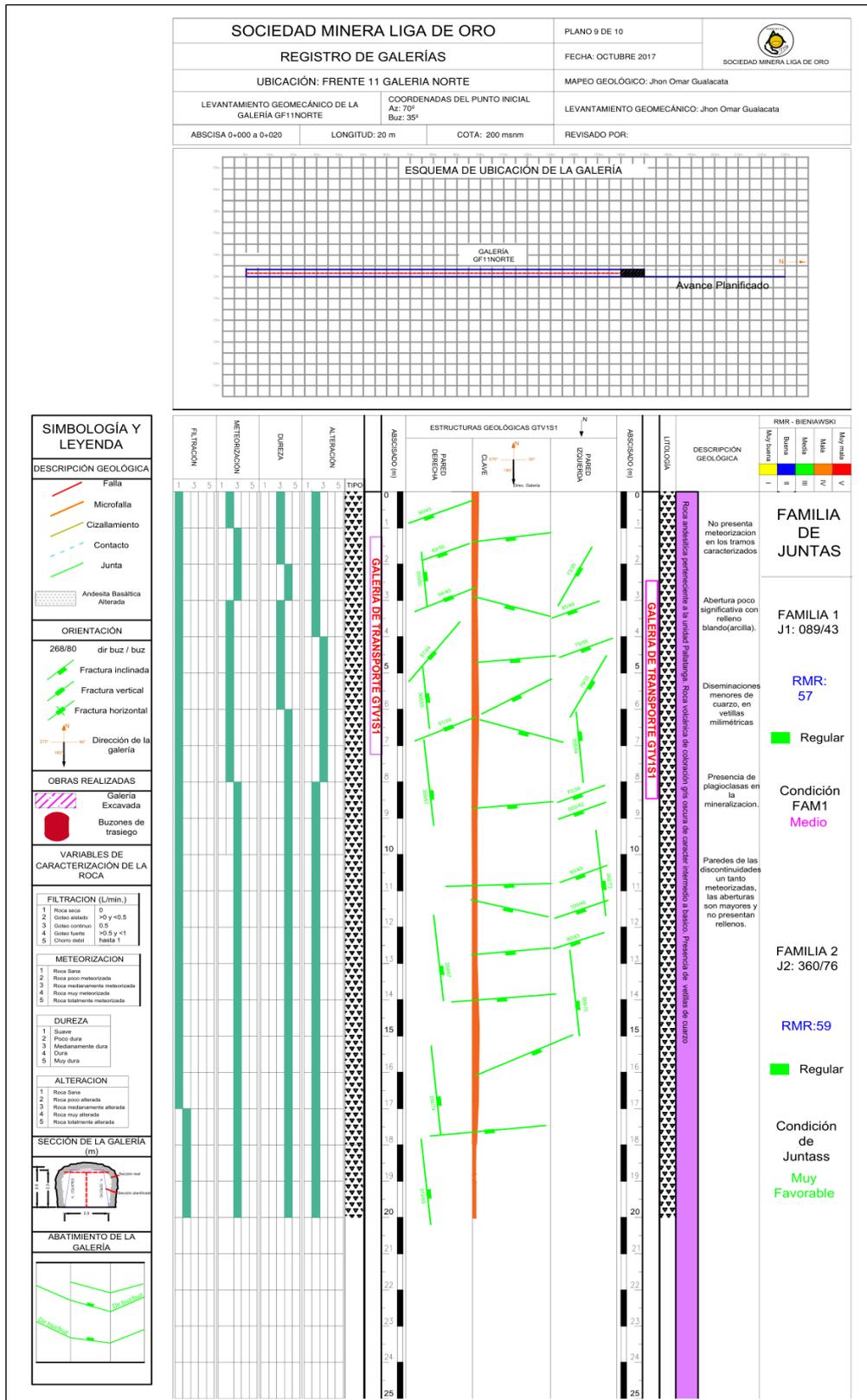
Fuente: Gualacata, J., 2018.

Tabla F-10. PLANTILLA GEOMECANICA DE CAMPO PARA LA GALERIA NORTE-SUBNIVEL 2, SECTOR FRENTE 11

HOJA GEOM. Nº 9		GALERIA: GALERIA NORTE -FRENTE 11							LEYENDA												Resistencia a partir de índices de campo																									
		DATOS ESTRUCTURALES VETA: Az: 70 Buz: 35			COTA: Z: 200 m		Levantado por: Az. Eje Labor: Jhon Omar Gualacata 335º		Tipo de Plano E Estratificación S Esquistosidad J Juntas F Fallas B Bandeado			Rellenos C Arcillas y Óxidos S Arenas Q Cuarzo G Gravas Cc Carbonatos B Brechas F Feldespatos M Milonitas Ma Miner. Arcillas						R0 Se puede marcar con la uña. R1 Al golpear con la punta del martillo la roca se desmenuza. R2 Al golpear con la punta del martillo se producen ligeras marcas R3 Con un golpe fuerte de martillo puede fracturarse. R4 Se requiere más de un golpe del martillo para fracturarla. R5 Se requiere muchos golpes del martillo para fracturarla. R6 Al golpear con el martillo sólo saltan esquirlas.																												
		Estructuras		1.RCS (MPa)		2. RQD		3.SEPARACIÓ N DISCON.		4. ESTADOS DE LAS DISCONTINUIDADES						5.AGUA FREÁTICA						Dirección del Eje del Túnel	Posición de Junta referente a la dirección de la Galería	Condición de la Junta según Bieniawski	Factor de Corrección																					
Desde	Hasta	TIPO DE ESTRUCTURA (1)	DIRECCIÓN DE BUZAMIENTO (º)	BUZAMIENTO (º)	Fracturas/metro	Valoración	PERSISTENCI A		ABERTURA		RUGOSIDAD		RELLENO		ALTERACIÓN		FREÁTICA																													
							>2m	2m-60 cm	60 cm-20 cm	20 cm-6 cm	<1m	1-3 m	3-10m	10-20 m	> 20m	Nada	<0.1 mm	0.1-1 mm	1-5 mm	> 5mm	Muy Rugosa	Rugosa	Ligeramente Rugosa	Ondulada	Suave	Ninguno	Relleno <5 mm	Relleno >5 mm	Duro	Relleno Blando	Relleno Blando > 5mm	Naturaleza del Relleno	Inalterado	Ligeramente alterado	Moderadamente Alterado	Muy Alterado	Descompuesto	Seco	Lug. < 10 litros/min	Húmedo 10- 25 litros/min	Gotonado 35- 125 litros/min	Agua Fluyente > 125 litros/min				
							20	15	10	8	6	4	2	1	0	6	5	3	1	0	6	5	3	1	0	6	4	2	2	0		6	5	3	1	0	15	10	7	4	0					
0+000	0+001	J	90	45						15	4											3								Q/Cl		3			15								335	Paralela al túnel	Medio	-5
0+000	0+001	J	83	50						15	4											3								Q/Ox		3			15								335	Paralela al túnel	Muy desfavorable	-12
0+002	0+003	J	355	60						15	4											3								Q/Ox		3			15								335	Perpendicular al túnel	Muy favorable	0
0+002	0+003	J	73	35						15	4											3								Q/Ox		3			15								335	Paralela al túnel	Medio	-5
0+003	0+004	J	85	46						15	4											3								Q/Ox		3			15								335	Paralela al túnel	Muy desfavorable	-12
0+004	0+005	J	87	44						15	4											3								Q/Ox		3			15								335	Paralela al túnel	Medio	-5
0+004	0+005	J	79	56						15	4											3								Q/Cl		3			15								335	Paralela al túnel	Muy desfavorable	-12
0+005	0+006	J	5	65						15	4											3								Q/Cl		3			15								335	Perpendicular al túnel	Muy favorable	0
0+005	0+006	J	79	33						15	4											3								Q/Cl		3			15								335	Paralela al túnel	Medio	-5
0+006	0+007	J	91	39						15	4											3								Q/Ox		3			15								335	Paralela al túnel	Medio	-5
0+006	0+007	J	358	64						15	4											3								Q/Ox		3			15								335	Perpendicular al túnel	Muy favorable	0
0+008	0+009	J	355	67						15	4											3								Q/Ox		3			15								335	Perpendicular al túnel	Muy favorable	0
0+008	0+009	J	70	34						15	4											3								Q/Ox		3			15								335	Paralela al túnel	Medio	-5
0+008	0+009	J	3	34						15	4											3								Q/Ox		3			15								335	Perpendicular al túnel	Favorable	-2
0+010	0+011	J	90	43						15	4											3								Q/Ox		3			15								335	Paralela al túnel	Medio	-5
0+010	0+011	J	2	73						15	4											3								Q/Ox		3			15								335	Perpendicular al túnel	Muy favorable	0
0+011	0+012	J	100	46						15	4											3								Q/Ox		3			15								335	Paralela al túnel	Muy desfavorable	-12
0+013	0+014	J	3	70						15	4											3								Q/Ox		3			15								335	Perpendicular al túnel	Muy favorable	0
0+013	0+014	J	359	67						15	4											3								Q/Ox		3			15								335	Perpendicular al túnel	Muy favorable	0
0+016	0+017	J	356	74						15	4											3								Q/Ox		3			15								335	Perpendicular al túnel	Muy favorable	0
0+019	0+020	J	5	55						15	4											3								Q/Ox		3			15								335	Perpendicular al túnel	Muy favorable	0

Fuente: Gualacata, J., 2018.

Figura F-10. HOJA DE MAPEO ESTRUCTURAL Y GEOMECÁNICO PARA LA GALERIA NORTE-SUBNIVEL 2, SECTOR FRENTE 11



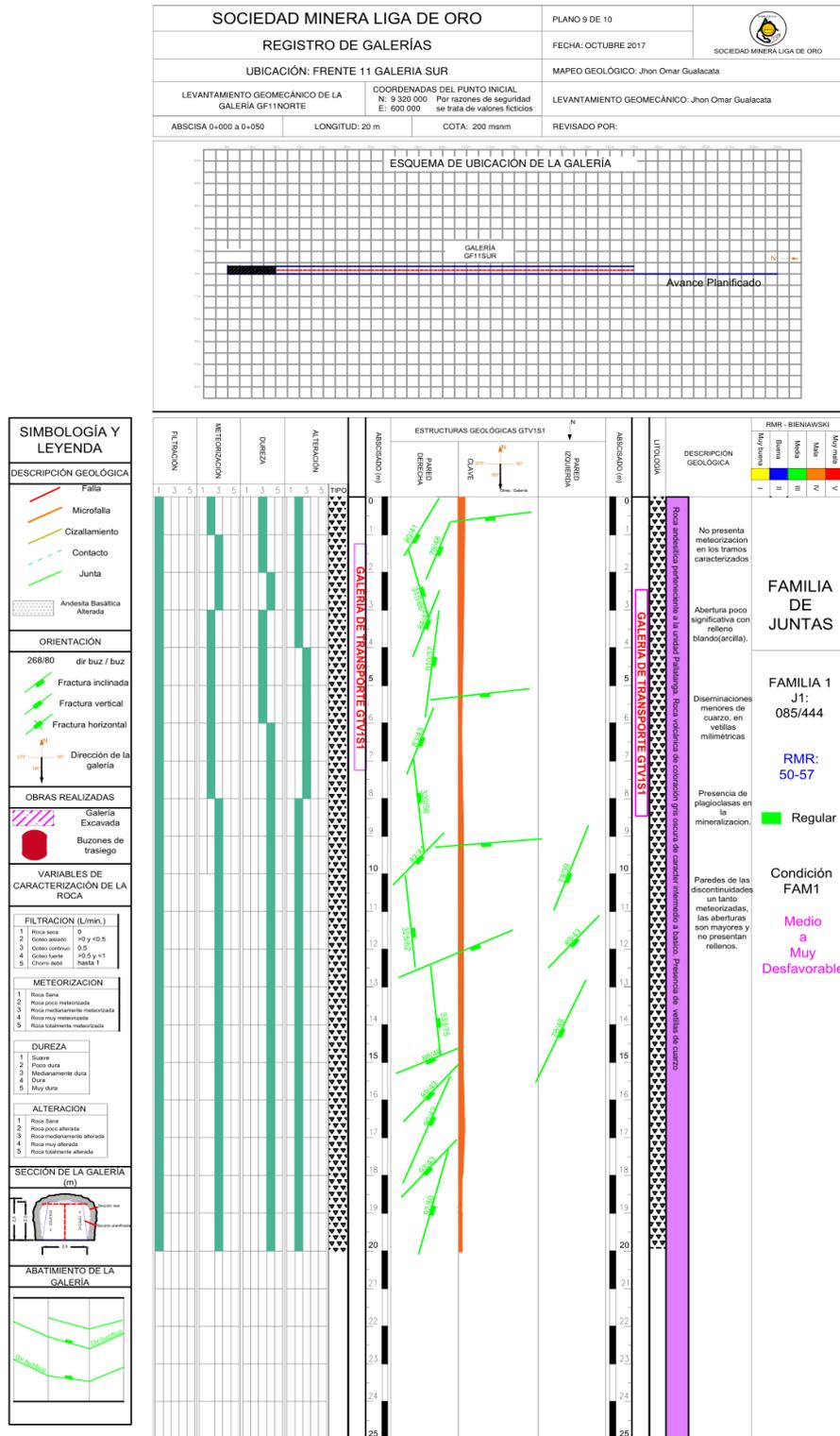
Fuente: Gualacata, J., 2018.

Tabla F-11 PLANTILLA GEOMECANICA DE CAMPO PARA GALERIA SUR-SUBNIVEL 2, SECTOR FRENTE 11

HOJA GEOM. Nº 9		GALERIA: GALERIA SUR -FRENTE 11-SUB 2										LEYENDA										Resistencia a partir de índices de campo																																
		DATOS ESTRUCTURALES VETA: Az: 86 Buz: 38					COTA: Z: 200 m		Levantado por: Jhon Omar Gualacata			Az. Eje Labor: 175º		Tipo de Plano E Estratificación S Esquistosidad J Juntas F Fallas B Bandedado		Rellenos C Arcillas y l S Arenas G Gravas B Brechas M Milonitas Ó Óxidos Q Cuarzo Cc Carbonatos F Feldespatos Ma Miner. Arcillas								R0 Se puede marcar con la uña.	R1 Al golpear con la punta del martillo la roca se desmenuza.	R2 Al golpear con la punta del martillo se producen ligeras marcas	R3 Con un golpe fuerte de martillo puede fracturarse.	R4 Se requiere más de un golpe del martillo para fracturarla.	R5 Se requiere muchos golpes del martillo para fracturarla.	R6 Al golpear con el martillo sólo saltan esquirlas.																								
		Estructuras		1.RCS (MPa)			2. RQD		3.SEPARACIÓ N DISCON.			4. ESTADOS DE LAS DISCONTINUIDADES										5.AGUA FREÁTICA				Dirección del Eje del Túnel	Posición de Junta referente a la dirección de la Galería	Condición de la junta según Bieniawski	Factor de Corrección																									
Desde	Hasta	TIPO DE ESTRUCTURA (1)	DIRECCIÓN DE BUZAMIENTO (º)		BUZAMIENTO (º)		VALORACIÓN		PERSISTENCIA			ABERTURA			RUGOSIDAD				RELLENO				ALTERACIÓN							NATURALEZA DEL RELLENO																								
				>250	100-250	50-100	25-50	5-25 Mpa	Fracturas/metro	RQD= 100e ^{-(0.1N)} *(0.1N+1)	>2m	2m-60 cm	60 cm-20 cm	20 cm-6 cm	< 1m	1-3 m	3-10m	10-20 m	> 20m	Nada	<0.1 mm	0.1-1 mm	1-5 mm	> 5mm	Muy Rugosa	Rugosa	Ligeramente Rugosa	Ondulada	Sueve	Ninguno	Relleno	Duro	Relleno	Duro	Relleno	Blando	Relleno	Blando	Naturaleza del Relleno	Inalterado	Ligeramente alterado	Moderadamente Alterado	Muy Alterado	Descompuesto	Seco	Nulo	< 10 litros/min	10-25 litros/min	35- 125 litros/min	> 125 litros/min				
				15	12	7	4	2			20	15	10	8	6	4	2	1	0	6	5	3	1	0	6	5	3	1	0	6	4	2	2	2	0		6	5	3	1	0	15	10	7	4	0								
0+000	0+001	J	80	41		7			5	91.0	15			8	4								1			3									Q/Ox		3			15					175	Paralela al túnel	Medio	-5						
0+000	0+001	J	79	48		7			5	91.0	15			8	4								1			3								Q/Ox		3		15					175	Paralela al túnel	Muy desfavorable	-12								
0+002	0+003	J	315	66		7			4	93.8	15			8	4										3									Q/Ox		3		15					175	Perpendicular al túnel	Muy favorable	0								
0+003	0+004	J	84	47			4		4	93.8	15			8	4								1			3								Q/Ox		3		15					175	Paralela al túnel	Muy desfavorable	-12								
0+004	0+005	J	10	37			4		6	88	17			0	4								1			3								Q/Ox		3		15					175	Perpendicular al túnel	Favorable	-2								
0+006	0+007	J	83	43		7			5	91	15			0	4								1			3								Q/Ox		3		15					175	Paralela al túnel	Medio	-5								
0+008	0+009	J	320	56		7			5	91	15			0	4											3								Q/Ox		3		10					175	Perpendicular al túnel	Muy favorable	0								
0+009	0+010	J	82	41		7			6	88	17			0	4										3									Q		3		15					175	Paralela al túnel	Medio	-5								
0+010	0+011	J	78	39		7			6	88	17			0	4										3									Q		3		15					175	Paralela al túnel	Medio	-5								
0+011	0+012	J	325	62			4		4	88	17			0	4		2								3									Q		5		10					175	Perpendicular al túnel	Muy favorable	0								
0+011	0+012	J	89	43			4		4	88	17			0	4										3									Q		5		15					175	Paralela al túnel	Medio	-5								
0+013	0+014	J	333	75			4		7	84	17			0	4										3									Q		3		10					175	Perpendicular al túnel	Muy favorable	0								
0+013	0+014	J	78	48		7			7	84	17			8	4									1		5								Q/Ox		3		15					175	Paralela al túnel	Muy desfavorable	-12								
0+015	0+016	J	88	46		7			5	91	15			8	4										1		5							Q/Ox		3		15					175	Paralela al túnel	Muy desfavorable	-12								
0+016	0+017	J	89	43		7			6	88	17			8	4									1		5								Q/Ox		3		15					175	Paralela al túnel	Medio	-5								
0+016	0+017	J	90	42			4		6	88	17			8	4									1		5								Q/Ox		3		15					175	Paralela al túnel	Medio	-5								
0+018	0+019	J	93	43			4		6	88	17			8	4									1		5								Q/Ox		3		15					175	Paralela al túnel	Medio	-5								
0+019	0+020	J	92	50			4		6	88	17			8	4									1		5								Q/Ox		3		15					175	Paralela al túnel	Muy desfavorable	-12								

Fuente: Gualacata, J., 2018.

Figura F-11. HOJA DE MAPEO ESTRUCTURAL Y GEOMECÁNICO PARA LA GALERIA SUR-SUBNIVEL 2, SECTOR FRENTE 11



Fuente: Gualacata, J., 2018.

Figura F-12. REPORTE DE ENSAYOS DE COMPRESION SIMPLE PARA MUESTRAS DE ROCA DE CAJA, GALERIAS MINA LIGA DE ORO.



ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL
 FACULTAD DE INGENIERIA EN CIENCIAS DE LA TIERRA
 LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS
 GUAYAQUIL

**RESULTADO DE LOS ENSAYOS DE COMPRESIÓN DE ROCA REALIZADOS
 SOBRE CUBOS DE ROCAS**

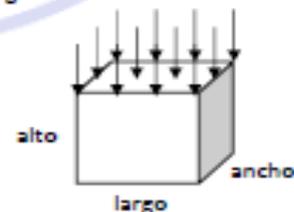
DATOS INFORMATIVOS				
OBRA	SOLITCIDADOR POR	FECHAS: 25-01-2018		
	Jhon Omar Gualacata	RECEPCION	ENSAYO	INFORME
				X

DATOS TÉCNICOS Y RESULTADOS:							
Nº	IDENTIFICACION DE LA MUESTRA	SECCION mm ²	CARGA MAXIMA KN	RESISTENCIA A COMPRESION MPa	DIMENSIONES (mm)		
					Largo	Ancho	Alto
1	Vetilla 1 Veta B	0.257556	462.3	179.7	50.7	50.8	50.6
2	Vetilla Norte	0.252004	703.1	279	50.2	50.2	50.1
3	Vetilla Sur	0.251502	718.2	282.5	50.1	50.2	50.7
4	Frente 11 Sur	0.255016	751.9	296.0	50.8	50.2	50.4
	Frente 11 Norte	0.254007	758.3	297.3	50.1	50.7	50.9
1	Bocamina 1 norte	0.254517	305.9	120.0	50.0	50.2	50.8
2	Bocamina 1 sur	0.254677	276.9	107.9	50.5	50.6	50.7
3	Bocamina 2 sur	0.253211	224.6	89.83	50.0	50.5	50.0
4	Nivel C	0.252234	359.6	143.8	50.6	50.8	50.0

OBSERVACIONES:

- 1 MPa = 10.197 Kg/cm²

Cargar uniformemente distribuida



Ing. Daniel
 JEFE DEL LABORATORIO

Fuente: Gualacata, J., 2018.

ANEXO G

Figura G-1 Ensayos de Compresión Simple aplicados a las muestras de roca de las galerías estudiadas,



Fuente: Gualacata, J., 2018.

BIBLIOGRAFÍA

Bieniawski, Z. (1974). Geomechanics Classification of Jointed Rock Masses and its Application in Tunneling. (Vol. IIA). Denver: ISRM .

Célada, B. (200). Las Clasificaciones Geomecanicas. Mexico.

Deere, P. (1963). Technical Description of Rock Cores for Engineering Purposes. Rock Mech. Eng Geol.

Duque, P. (2000). Breve léxico Estratigráfico del Ecuador. Quito: UCP-PRODEMINCA Proyecto MEM.

Energía, S. N. (2004). Manual de Geomecánica aplicada a la prevención de accidentes por caída de rocas en minería subterránea. Lima.

González de Vallejo, L. (2002). Ingeniería Geológica. Madrid: PEARSON.

Hoek, E., & Brown, E. (1980). Empirical Strength Criterion for Rock Masses. Geotech.Eng.

Hoek, E., & Brown, E. (1997). Estimación de la Resistencia de Macizos Rocosos en la Práctica. Estandares para la Caracterizacion Geotecnica de rocas, estructuras y macizos rocosos., 1-28.

Hoek, E., Brown, E., & Bello, A. (1985). Excavaciones Subterráneas en roca. Mexico: McGraw-Hill.

Hudson, J., & Priest, S. (1979). International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts (Vol. 16). ELSEVIER.

Jordá, L. (2015). Estaciones Geomecánicas y Descripción de Macizos Rocosos en Afloramientos. . Guayaquil.

Jordá, L. (2015). Manual Básico de Clasificaciones Geomecánicas. Guayaquil.

Muñoz, I., & Vallejo, G. d. (1987). Aplicación de las Clasificaciones Geomecánicas al estudio de Excavaciones Subterráneas. HENARES, Revista Geológica., 71-76.

Nuñez del Arco, E. (2003). Geología de Ecuador. Guayaquil: FICT ESPOL.

Oyanguren, R., De la Cudra, L., Huerta, L., & Obeso, G. (s.f.). Mecánica de Rocas aplicada a la minería subterránea. Madrid: Instituto Geológico Minero de España.

Oyanguren, P., & Monge, L. (2004). Mecánica de Rocas-Fundamentos e Ingeniería de Taludes. Madrid.

Paladines, A., & Rosero, J. (1996). Zonificación Mineralogénica del Ecuador. Quito.

Perri, G. (s.f.). Contribución a la caracterización geomecánica de los macizos rocosos en base al GSI de Hoek. Caracas: Universidad Central de Venezuela.

Serralde, J., & Franco, G. (2011). Estabilidad, por formación de cuñas, para un túnel en roca. Pan-Am CGS Geotechnical Conference, (págs. 1-7). Mexico.

Trabajo, O. I. (23 de Marzo de 2015). La minería: un trabajo peligroso. Obtenido de http://www.ilo.org/safework/areasofwork/hazardous-work/WCMS_356574/lang--es/index.htm

Vallejo et al, C. (2009). Evolución geodinámica de la cordillera occidental (Cretácico tardío-Paleógeno). Quito: Escuela Politécnica Nacional (EPN).

Yupanqui, L. (2004). Determinación de las propiedades físico-mecánicas de las rocas y monitoreo de la masa rocosa. Huaraz.