



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



**CARACTERIZACION GEOMECANICA DEL MACIZO ROCOSO  
PARA EL DISEÑO DE SOSTENIMIENTO DE LA UEA ANA MARIA I  
Y IV DE LA CONTRATA MINERA MAURINHO**

**TESIS**

**PRESENTADO POR:**

**bach. RENÉ MAURO MAMANI LARICO**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO DE MINAS**

**PUNO – PERÚ**

**2019**



## DEDICATORIA

*La presente tesis, está dedicada con mucho Cariño a mis padres Mauro Mamani Mayta y Maritza Larico Cañapataña de Mamani por su Incondicional apoyo que me brindaron durante El tiempo que estuve en las aulas universitarias*

*Asimismo dedico a mi hermano Richard por sus palabras de aliento Permanente que me motivaron para Plasmar el presente trabajo que yo Me proyecte la tesis de investigación.*

*Dedico también la presente tesis a mí Familia, mi esposa gleni y mi hija Angie kristel que son mi motor y Motivo para seguir adelante, y el empuje Necesario para seguir encaminándome Al éxito en la actividad minera.*

***René Mauro Mamani Larico***



## AGRADECIMIENTO

- *Primeramente agradezco infinitamente a Dios, quien me protegió, me ilumino y medio las fuerzas para superar todas las dificultades que se me presentaron permitiéndome alcanzar una de las metas en mi vida.*
- *Asimismo a todos los docentes de la escuela profesional de Ingeniería de Minas de la Universidad Nacional del Altiplano - Puno, por sus consejos y sabias enseñanzas que me impartieron dentro de las aulas Universitarias.*
- *A la Contrata minera Maurinho por permitirme desarrollar el trabajo de investigación dentro de sus operaciones mineras, que me sirvieron en mi formación profesional y los retos que indirectamente me pusieron.*
- *A mi amigo Alex Mesco, al ingeniero Huilber Cusi Ito que como una familia minera de la misma escuela profesional me dio su apoyo incondicional y buenos consejos por sus experiencias compartidas en el ámbito de la minería.*

***René Mauro Mamani Larico***



## ÍNDICE GENERAL

### ÍNDICE DE FIGURAS

### ÍNDICE DE CUADROS

### ÍNDICE DE ANEXOS

### LISTA DE SÍMBOLOS, ABREVIATURAS Y NOMENCLATURAS

**RESUMEN..... 18**

**ABSTRACT..... 19**

### CAPÍTULO I

#### INTRODUCCION

1.1. Descripción del problema ..... 20

1.2. Formulación del problema ..... 20

1.2.1. Interrogante general ..... 20

1.2.2. Interrogantes específicas ..... 21

1.3. Objetivos de la investigación ..... 21

**1.3.1. Objetivo general ..... 21**

**1.3.2. Objetivos específicos ..... 21**

1.4. Justificación del problema ..... 22

1.5. Limitaciones del estudio ..... 22

1.6. Viabilidad del estudio ..... 23



## CAPÍTULO II

### REVISION DE LA LITERATURA

<b>2.1. Antecedentes de la investigación.....</b>	<b>24</b>
<b>2.2. Bases Teóricas.....</b>	<b>27</b>
2.2.1. Geología regional.....	27
2.2.1.1. Estratigrafía regional.....	27
2.2.1.2. Geología, local.....	29
2.2.2. Clasificación geomecánica RMR de Bieniawski .....	33
2.2.3 . Recomendaciones de sostenimiento según el RMR de Bieniawski 1989.....	34
2.2.4. Sistema de clasificación del Q de Barton .....	39
2.2.5. Recomendaciones de sostenimiento según Barton .....	48
2.2.6. Parámetros de resistencia de las discontinuidades.....	49
2.2.7. Familias de discontinuidades .....	50
2.2.8. Estructura geológica.....	50
2.2.9. Influencia de las discontinuidades en la estabilidad .....	51
2.2.10. Análisis y representación de fallas.....	53
2.2.11. Tipos de falla de pernos de roca .....	54
2.2.12. Tipos de falla del shotcrete .....	54
2.2.13. Estado tensional .....	55
2.3. Definiciones conceptuales .....	55
2.3.1. Macizo rocoso.....	55
2.3.2. Matriz rocosa .....	56
2.3.3. Discontinuidad .....	56
2.3.4. Dilatación .....	56
2.3.5. Orientación.....	56



2.3.6. Espaciado .....	57
2.3.7. Persistencia .....	57
2.3.8. Rugosidad .....	57
2.3.9. Apertura .....	57
2.3.10. Relleno .....	57
2.3.11. Aguas subterráneas .....	58
2.3.12. Meteorización .....	58
2.3.13. Alteración.....	58
2.3.14. Factor de seguridad .....	59
2.3.15. Probabilidad de falla .....	59
2.3.16. Diseño de sostenimiento .....	59
2.3.17. Clasificaciones geomecánicas.....	60
2.3.18. Dominios geotécnicos .....	60
2.3.19. Labores de desarrollo .....	60
2.4. Formulación de hipótesis .....	61
2.4.1. Hipótesis general.....	61
2.4.2. Hipótesis específicas .....	61

### CAPÍTULO III

#### MATERIALES Y MÉTODOS

<b>3.1. Tipo y diseño de investigación .....</b>	<b>62</b>
<b>3.2. población y muestra .....</b>	<b>62</b>
<b>3.2.1. población.....</b>	<b>62</b>
<b>3.2.2. Muestra .....</b>	<b>62</b>
3.3. Operacionalización de variables .....	63
3.3.1. Variables .....	63



3.3.2. Operación de Variables.....	64
3.4. Técnicas e instrumentación de recolección de datos .....	64
3.5. Ámbito de estudio .....	65
3.6. Accesibilidad.....	66

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSION

4.1. Propiedades físico – mecánico del macizo rocoso.....	67
4.1.1. Porosidad.....	67
4.1.2. Contenido de agua.....	68
4.1.3. Densidad .....	70
4.1.4. Deformación .....	71
<u>4.1.5. Criterio de resistencia.....</u>	<u>72</u>
4.2. Caracterización del macizo rocoso .....	74
4.2.1. Caracterización geomecánica por estaciones.....	74
<b>4.3. Analisis estadístico de datos en Excel de las discontinuidades efectuados por la caracterización geomecánica de las seis estaciones.....</b>	<b>74</b>
4.4. Clasificación geomecánica.....	75
4.4.1. Índice de designación de la calidad de rocas (RQD) .....	76
4.4.2. Clasificación geomecánica del macizo rocoso (RMR) 1989 por estación .....	77
4.2.3. Clasificación geomecánica RMR89 por estaciones.....	79
<b>4.3. Analisis estadístico de datos en Excel RMR89 tramo por la caracterización geomecánica de las seis estaciones .....</b>	<b>79</b>
4.4.1. Índice de Calidad Tunelera de la roca (Q) .....	80
4.4.2. Índice de resistencia geológico (GSI) .....	94
4.5. Modelamiento estructural del macizo rocoso .....	98



4.6. Diseño de sostenimiento .....	104
4.7.1. Parámetro geomecánico .....	105
4.7.1.1. Calidad geomecánica de la zona inestable .....	105
4.7.1.2. Niveles de esfuerzos presentes en la zona de trabajo (PHASE02) .....	111
4.7.1.3. Parámetros mecánicos del macizo rocoso.....	117
4.7.1.4. Análisis de factores de seguridad.....	118
4.7.2. parámetro operativo .....	124
4.7.2.1. Tiempo de exposición del proyecto .....	124
4.7.2.2. Capacidad del proyecto.....	127
4.7.2.3. Dimensionamiento .....	127
4.7.2.4. Tipo de Perno de anclaje.....	129
4.7.3. Diseño de sostenimiento por refuerzo (Q) .....	131
4.8. Discusión.....	143
4.9. Comparación de datos .....	155
4.10. Contrastación .....	156
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>157</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>158</b>
<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>159</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>162</b>

**Área** : Ingeniería de Minas.

**Tema** : Caracterización geomecánica

**FECHA DE SUSTENTACIÓN:** 13 de setiembre 2019



## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b>	Ábaco sostenimiento del macizo rocoso según Barton .....	49
<b>Figura 2.</b>	Influencia de la estructura geológica en la estabilidad de un túnel. ....	51
<b>Figura 3.</b>	Influencia de las discontinuidades en la estabilidad de un túnel. ....	53
<b>Figura 4.</b>	Representación y análisis de discontinuidades.....	53
<b>Figura 5.</b>	Tipo de falla en pernos de roca. ....	54
<b>Figura 6.</b>	Tipo de falla de una capa de shotcrete.....	55
<b>Figura 7.</b>	Fuente Introduction to Rock Mechanics Goodman pag 75 .....	71
<b>Figura 8.</b>	Introduction to Geotechnical Engineering Holst Covasc 1975 .....	72
<b>Figura 9.</b>	Modelamiento del macizo rocoso con el software dips 06 hastial izquierdo, derecho estación geomecánica 01.....	98
<b>Figura 10.</b>	Modelamiento del macizo rocoso con el software dips 06 hastial izquierdo, derecho estación geomecánica 02.....	99
<b>Figura 11.</b>	Modelamiento del macizo rocoso con el software dips 06 hastial izquierdo, derecho estación geomecánica 03.....	100
<b>Figura 12.</b>	Modelamiento del macizo con el software dips 06 rocoso hastial izquierdo, derecho estación geomecánica 04.....	102
<b>Figura 13.</b>	Modelamiento del macizo rocoso con el software dips 06 hastial izquierdo, derecho estación geomecánica 05.....	103
<b>Figura 14.</b>	Modelamiento del macizo rocoso con el software dips 06 hastial izquierdo, derecho estación geomecánica 06.....	104
<b>Figura 15.</b>	Estación geomecánica 01 hastial izquierdo estado tensional .....	113
<b>Figura 16.</b>	Estación geomecánica 01 hastial derecho estado tensional.....	113
<b>Figura 17.</b>	Estación geomecánica 02 hastial izquierdo estado tensional .....	114
<b>Figura 18.</b>	Estación geomecánica 02 hastial derecho estado tensional.....	114
<b>Figura 19.</b>	Estacion geomecanica 03 hastial izquierdo estado tensional .....	114



<b>Figura 20.</b>	Estación geomecánica 03 hastial derecho estado tensional.....	115
<b>Figura 21.</b>	Estación geomecánica 04 hastial izquierdo estado tensional .....	115
<b>Figura 22.</b>	Estación geomecánica 04 hastial derecho estado tensional.....	115
<b>Figura 23.</b>	Estación geomecánica 05 hastial izquierdo estado tensional .....	116
<b>Figura 24.</b>	Estación geomecánica 05 hastial derecho estado tensional.....	116
<b>Figura 25.</b>	Estación geomecánica 06 hastial izquierdo estado tensional .....	116
<b>Figura 26.</b>	Estación geomecánica 06 hastial derecho estado tensional.....	117
<b>Figura 27.</b>	Estacion geomecánica 01 hastial izquierdo.....	118
<b>Figura 28.</b>	Estacion geomecánica 01 hastial derecho .....	119
<b>Figura 29.</b>	Estacion geomecánica 02 hastial izquierdo.....	119
<b>Figura 30.</b>	Estacion geomecánica 02 hastial derecho .....	120
<b>Figura 31.</b>	Estacion geomecánica 03 hastial izquierdo.....	120
<b>Figura 32.</b>	Estacion geomecánica 03 hastial derecho .....	121
<b>Figura 33.</b>	Estacion geomecánica 04 hastial izquierdo.....	121
<b>Figura 34.</b>	Estacion geomecánica 04 hastial derecho .....	122
<b>Figura 35.</b>	Estacion geomecánica 05 hastial izquierdo.....	122
<b>Figura 36.</b>	Estacion geomecánica 05 hastial derecho.....	123
<b>Figura 37.</b>	Estacion geomecánica 06 hastial izquierdo.....	123
<b>Figura 38.</b>	Estacion geomecánica 06 hastial derecho .....	124
<b>Figura 39.</b>	Proyecto de preparacion desarrollo de la contrata minera Maurinho....	125
<b>Figura 40.</b>	Proyecto de preparacion desarrollo de la contrata minera Maurinho....	126
<b>Figura 41.</b>	Proyecto de preparacion desarrollo de la contrata minera Maurinho....	126
<b>Figura 42.</b>	Dimensionamiento transversal del Proyecto de desarrollo .....	128
<b>Figura 43.</b>	Diseño del sostenimiento en la estación N° 1 hastial izquierdo.....	131
<b>Figura 44.</b>	Diseño del sostenimiento en la estación N° 1 hastial derecho .....	132



<b>Figura 45.</b>	Diseño del sostenimiento en la estación N° 2 hastial izquierdo.....	133
<b>Figura 46.</b>	Diseño del sostenimiento en la estación N° 2 hastial derecho .....	134
<b>Figura 47.</b>	Diseño del sostenimiento en la estación N° 3 hastial izquierdo.....	135
<b>Figura 48.</b>	Diseño del sostenimiento en la estación N° 3 hastial derecho .....	136
<b>Figura 49.</b>	Diseño del sostenimiento en la estación N° 4 hastial izquierdo.....	137
<b>Figura 50.</b>	Diseño del sostenimiento en la estación N° 4 hastial derecho .....	138
<b>Figura 51.</b>	Diseño del sostenimiento en la estación N° 5 hastial izquierdo.....	139
<b>Figura 52.</b>	Diseño del sostenimiento en la estación N° 5 hastial derecho .....	140
<b>Figura 53.</b>	Diseño del sostenimiento en la estación N° 6 hastial izquierdo.....	141
<b>Figura 54.</b>	Diseño del sostenimiento en la estación N° 6 hastial derecho .....	142



## ÍNDICE DE CUADROS

<b>Cuadro 01.</b>	Columna lito estratificada.....	30
<b>Cuadro 02.</b>	Parámetros, rango de valores para la clasificación RMR <sub>89</sub> .....	35
<b>Cuadro 03.</b>	Guía de sostenimiento primario según el RMR.....	36
<b>Cuadro 04.</b>	Operación de variables.....	64
<b>Cuadro 05.</b>	Accesibilidad .....	66
<b>Cuadro 06.</b>	Relación densidad porosidad .....	68
<b>Cuadro 07.</b>	Contenido de agua roca pizarra .....	69
<b>Cuadro 08.</b>	Contenido de agua roca cuarcita.....	69
<b>Cuadro 09.</b>	Densidad de la roca pizarra.....	70
<b>Cuadro 10.</b>	Densidad de la roca cuarcita .....	70
<b>Cuadro 11.</b>	Ensayo de resistencia a la compresión simple de la roca pizarra .....	73
<b>Cuadro 12.</b>	Ensayo de resistencia a la compresión simple de la roca cuarcita.....	73
<b>Cuadro 13.</b>	Análisis estadístico de discontinuidades de seis estaciones .....	75
<b>Cuadro 14.</b>	Tabla de índice manual de resistencia de la roca (ISRM 1978) .....	78
<b>Cuadro 15.</b>	Análisis estadístico de RMR <sub>89</sub> tramo de las seis estaciones .....	80
<b>Cuadro 16.</b>	Estación geomecánica 01 hastial izquierdo .....	82
<b>Cuadro 17.</b>	Estación geomecánica 01 hastial derecho.....	83
<b>Cuadro 18.</b>	Estación geomecánica 02 hastial izquierdo .....	84
<b>Cuadro 19.</b>	Estación geomecánica 02 hastial derecho.....	85
<b>Cuadro 20.</b>	Estación geomecánica 03 hastial izquierdo .....	86
<b>Cuadro 21.</b>	Estación geomecánica 03 hastial derecho.....	87
<b>Cuadro 22.</b>	Estación geomecánica 04 hastial izquierdo .....	88
<b>Cuadro 23.</b>	Estación geomecánica 04 hastial derecho.....	89
<b>Cuadro 24.</b>	Estación geomecánica 05 hastial izquierdo .....	90



<b>Cuadro 25.</b>	Estación geomecánica 05 hastial derecho.....	91
<b>Cuadro 26.</b>	Estación geomecánica 06 hastial izquierdo .....	92
<b>Cuadro 27.</b>	Estación geomecánica 06 hastial derecho.....	93
<b>Cuadro 28.</b>	Estación geomecánica 01 GSI hastial izquierdo.....	95
<b>Cuadro 29.</b>	Estación geomecánica 01 GSI hastial derecho .....	95
<b>Cuadro 30.</b>	Estación geomecánica 02 GSI hastial izquierdo.....	95
<b>Cuadro 31.</b>	Estación geomecánica 02 GSI hastial derecho .....	95
<b>Cuadro 32.</b>	Estación geomecánica 03 GSI hastial izquierdo.....	96
<b>Cuadro 33.</b>	Estación geomecánica 03 GSI hastial derecho .....	96
<b>Cuadro 34.</b>	Estación geomecánica 04 GSI hastial izquierdo.....	96
<b>Cuadro 35.</b>	Estación geomecánica 04 GSI hastial derecho .....	96
<b>Cuadro 36.</b>	Estación geomecánica 05 GSI hastial izquierdo.....	97
<b>Cuadro 37.</b>	Estación geomecánica 05 GSI hastial derecho .....	97
<b>Cuadro 38.</b>	Estación geomecánica 06 GSI hastial izquierdo.....	97
<b>Cuadro 39.</b>	Estación geomecánica 06 GSI hastial derecho .....	97
<b>Cuadro 40.</b>	Estación geomecánica 01 calidad de la zona inestable HI.....	105
<b>Cuadro 41.</b>	Estación geomecánica 01 calidad de la zona inestable HD .....	106
<b>Cuadro 42.</b>	Estación geomecánica 02 calidad de la zona inestable HI.....	106
<b>Cuadro 43.</b>	Estación geomecánica 02 calidad de la zona inestable HD .....	107
<b>Cuadro 44.</b>	Estación geomecánica 03 calidad de la zona inestable HI.....	107
<b>Cuadro 45.</b>	Estación geomecánica 03 calidad de la zona inestable HD .....	108
<b>Cuadro 46.</b>	Estación geomecánica 04 calidad de la zona inestable HI.....	108
<b>Cuadro 47.</b>	Estación geomecánica 04 calidad de la zona inestable HD .....	109
<b>Cuadro 48.</b>	Estación geomecánica 05 calidad de la zona inestable HI.....	109
<b>Cuadro 49.</b>	Estación geomecánica 05 calidad de la zona inestable HD .....	110



<b>Cuadro 50.</b>	Estación geomecánica 06 calidad de la zona inestable HI.....	110
<b>Cuadro 51.</b>	Estación geomcánica 06 calidad de la zona inestable HD.....	111
<b>Cuadro 52.</b>	Contenido de agua roca pizarra .....	117
<b>Cuadro 53.</b>	Contenido de agua roca cuarcita .....	118
<b>Cuadro 54.</b>	Comparación de datos.....	155



## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>Anexo 01.</b>	Matriz de consistencia.....	163
<b>Anexo 02.</b>	Caracterización de macizos estación 01 hastial izquierdo y derecho .....	164
<b>Anexo 03.</b>	Caracterización de macizos estación 02 hastial izquierdo y derecho .....	165
<b>Anexo 04.</b>	Caracterización de macizos estación 03 hastial izquierdo y derecho .....	166
<b>Anexo 05.</b>	Caracterización de macizos estación 04 hastial izquierdo y derecho .....	167
<b>Anexo 06.</b>	Caracterización de macizos estación 05 hastial izquierdo y derecho .....	168
<b>Anexo 07.</b>	Caracterización de macizos estación 06 hastial izquierdo y derecho .....	169
<b>Anexo 08.</b>	RMR estación 01 hastial izquierdo y derecho .....	170
<b>Anexo 09.</b>	RMR estación 02 hastial izquierdo y derecho .....	171
<b>Anexo 10.</b>	RMR estación 03 hastial izquierdo y derecho .....	172
<b>Anexo 11.</b>	RMR estación 04 hastial izquierdo y derecho .....	173
<b>Anexo 12.</b>	RMR estación 05 hastial izquierdo y derecho .....	174
<b>Anexo 13.</b>	RMR estación 06 hastial izquierdo y derecho .....	175
<b>Anexo 14.</b>	Parametros y rango de valores para la clasificacion geomecánica 89.....	176
<b>Anexo 15.</b>	Tabla de índice manual de resistencia de la roca (ISRM 1978).....	177
<b>Anexo 16.</b>	GSI basado en observaciones geológicas.....	178
<b>Anexo 17.</b>	Informe de laboratorio .....	179
<b>Anexo 18.</b>	Toma de datos con brújula buzamiento, direccion buzamiento .....	184
<b>Anexo 19.</b>	Toma de datos con martillo Smith con golpes en los hastiales.....	185
<b>Anexo 20.</b>	Instrumentos geomecánicos .....	186
<b>Anexo 21.</b>	Mapa de ubicación .....	187
<b>Anexo 22.</b>	Bocamina sarita ingreso al planeamiento Rytty pata inferior .....	188
<b>Anexo 23.</b>	01 Plano del Proyecto , 01 Plano Representativo. ....	189



## LISTA DE SÍMBOLOS, ABREVIATURAS Y NOMENCLATURAS

UEA: Unidad Económica Administrativa  
ISRM: International Society for Rock Mechanics  
SIMR: Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas  
SFRS: Steel Fiber Reinforced Shotcrete  
JRC: Joint Roughness Coefficient  
RQD: Rock Quality Design  
RMR: Rock Mass Rating  
MPa: Mega Pascales  
UCS: Uniaxial Compressive Strength  
TM: Tonelada Métrica  
2D: Dos Dimensiones  
3D: Tres Dimensiones  
NGI: Instituto Geotécnico Noruego  
DIP: Buzamiento  
DIP DIR: Dirección de buzamiento  
SCANLINE: Línea de medida  
Pv: Presión vertical  
Ph: Presión horizontal  
HI: Hastial izquierdo  
HD: Hastial derecho  
t: Tonelada  
cm: Centímetros  
m: Metro  
mm: Milímetros



## RESUMEN

En el presente estudio de investigación titulado Caracterización geomecánica del macizo rocoso para el diseño de sostenimiento de la UEA Ana Maria I y IV de la contrata minera Maurinho ubicado en el distrito de Ananea, provincia de San Antonio de Putina, departamento de Puno, Perú; la galería de desarrollo en los últimos meses del año 2018 presentó algunas zonas debilitadas por la presencia de rocas agrietadas y algunos bloques de roca colgados poniendo en riesgo de caída de roca al personal que transita en la galería, a través ella hacen su ingreso cuatro contratas mineras, cada una con un promedio de 50 personas por contrata siendo así 200 personas en promedio que se exponen al riesgo durante las 24 horas en la galería; no existe ningún estudio geomecánico preliminar para determinar el tipo de sostenimiento, se desconoce la calidad del macizo rocoso, es por ello que surgió la necesidad del presente estudio que cual tiene como objetivo realizar una caracterización geomecánica y determinar el tipo de sostenimiento; la metodología usada fue descriptiva, la misma que nos permitió examinar los datos de manera científica (forma numérica); a través de la caracterización geomecánica se logra cumplir los objetivos teniendo como resultado para la estaciones geomecánicas 1, 2, 3, 4, 5 y 6 un valor RMR de Bieniawski de HI 63, HD 58 (regular), HI 58, HD 57 (regular), HI 64, HD 61 (regular), HI 57, HD 53 (regular), HI 57, HD 64 (regular) y HI 64, HD 63 (regular) respectivamente, de igual forma un valor de índice Q de Barton de HI 63, HD 13.48 (muy bueno, bueno), HI 11.04, HD 11.46 (bueno), HI 21, HD 12 (bueno), HI 5.03, HD 5 (medio), HI 11, HD 16.7 (bueno) y HI 18.9, HD 21.14 (bueno) para cada estación geomecánica respectivamente; determinando su tipo de sostenimiento en cada estación geomecánica como son en total seis dando como resultado que la estación 04 existe bastante fractura que es la estación con bastante dominio geotécnico lo cual requiere una inmediato sostenimiento con pernos 6 pies Split set y shotkrete y mallas 10 x 10 centímetros, tendría un costo aproximado de la estación geomecánica 04 1479.24USD En las estaciones 01, 02, 03, 05, 06 solo requieren sostenimiento con cuadros de madera.

**Palabras clave:** Caracterización geomecánica, diseño de sostenimiento, macizo rocoso.



## ABSTRACT

In this research study entitled Geometric characterization of the rock mass for the design of the UEA Ana María I and IV support of the Maurinho mining contract located in the Ananea district, province of San Antonio de Putina, department of Puno, Peru; The development gallery in the last months of the year 2018 presented some areas weakened by the presence of cracked rocks and some hanging rock blocks putting at risk of rock fall to the staff that travels in the gallery, through it they make their entry four mining contracts, each with an average of 50 people per contract thus being 200 people on average who are exposed to risk during the 24 hours in the gallery; there is no preliminary geometric study to determine the type of support, the quality of the rock mass is unknown, which is why the need for the present study arose which aims to perform a geometric characterization and determine the type of support; the methodology used was descriptive, the same that made us examine the data in a scientific way (numerical form); The geometric characterization achieves the objectives, resulting in the geometric stations 1, 2, 3, 4, 5 and 6, an RMR Bieniawski value of HI 63, HD 58 (regular), HI 58, HD 57 ( regular), HI 64, HD 61 (regular), HI 57, HD 53 (regular), HI 57, HD 64 (regular) and HI 64, HD 63 (regular) respectively, in the same way and Barton Q value HI 63, HD 13.48 (very good, good), HI 11.04, HD 11.46 (good), HI 21, HD 12 (good), HI 5.03, HD 5 (medium), HI 11, HD 16.7 (good) and HI 18.9, HD 21.14 (good) for each geomechanical station respectively; determining its type of support in each geometric station as they are in total six resulting in station 04 there is a lot of fracture that is the station with enough geotechnical domain which requires an immediate support with 6 feet bolts Split set and shotcrete and 10 x meshes 10 centimeters, at no cost to the geometric station 04 1479.24USD In stations 01, 02, 03, 05, 06 only support held with wooden frames.

Keywords: Geomechanical characterization, support design, rock mass.



# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

### 1.1 descripción del problema

Al no realizar un trabajo de caracterización geomecánica del macizo rocoso en sus proyectos mineros de la U.E.A. Ana María I y IV de la contrata Minera Maurinho, por desconocimiento del mismo se realizan operaciones mineras sin ningún control geomecánico, generando como consecuencia desarrollos mineros como túneles, tajeos, cortadas, cruceros, chimeneas, entre otros, completamente inestables ocasionando así accidentes como al personal y los equipos respectivamente.

La zonas evaluadas con dominios geotécnicos de cada estación comprenden tramos de 10 metros tanto en hastial izquierdo y derecho regularmente inestables y geológicamente está conformada de roca pizarra, el cual limita la posibilidad de transito por los constantes deslizamientos y sostenimientos con cuadros de madera debido a ello se planea diseñar un tipo de sostenimiento con los programas de rocscience, es necesario realizar un caracterización geomecánica, para ver las zonas inestables de la excavación de cada estación geomecánica, luego proceder al tipo de diseño de sostenimiento.

### 1.2 formulación del problema

Con la presente investigación que es la realización de la caracterización geomecánica del macizo rocoso para el diseño de sostenimiento de la unidad económica administrativa Ana María I y VI de la contrata Minera Maurinho, específicamente la caracterización y diseño del sostenimiento de cada estación geomecánica.

De la formulación del problema se plantea las siguientes interrogantes:

#### 1.2.1 interrogante general

¿Qué importancia tiene la caracterización geomecánica del macizo rocoso y el diseño de sostenimiento de la U.E.A. I y VI de la contrata Minera Maurinho?



### **1.2.2 interrogantes específicas**

¿Cuáles son los parámetros geomecánicos a considerar dentro de la caracterización geomecánica en la U.E.A. Ana María I y IV de la contrata Minera Maurinho?

¿Cuál será la propuesta del tipo de diseño del sostenimiento para las labores de desarrollo en la U.E.A. Ana María I y IV de la galería principal de la contrata Minera Maurinho?

### **1.3 objetivos de la investigación**

Determinar las características geomecánicas del macizo rocoso en la galería principal de la contrata minera Maurinho de cada estación, y diseñar el tipo de sostenimiento.

#### **1.3.1 Objetivo general**

Analizar la caracterización geomecánica del macizo rocoso de cada estación como en los hastiales izquierdo y derecho con tramo de 10 metros respectivamente.

#### **1.3.2 Objetivos específicos**

Determinar los parámetros geomecánicos para la caracterización del macizo rocoso como son; abertura, rugosidad, relleno, alteración, presencia de agua, numero de fracturas por metro lineal, y tipo del macizo rocoso.

Determinar el diseño de sostenimiento para la excavación de desarrollo en la U.E.A: Ana María I y IV en la galería principal de la contrata Minera Maurinho.



#### **1.4 Justificación del problema**

Las operaciones mineras que se realizan en la U.E.A., Ana María I y IV de la contrata Minera Maurinho son a pequeña escala y en gran número por la cantidad de operadores mineros que laboran, y la actividad que se realiza es de gran rentabilidad por las leyes altas del contenido metálico que existe en la mineralización del yacimiento cuyo titular minero de estas concesiones es Corporación Minera Ananea S.A., esto influye a que el personal colaborador realice el trabajo de extracción de manera incontrolada, dejando de lado el conocimiento geomecánico del macizo rocoso, de esta manera dar a conocer al detalle la caracterización geomecánica del macizo, para evitar el mal direccionamiento, sobre dimensionamiento de sus desarrollos mineros y plantear un diseño de sostenimiento adecuado.

El presente estudio se basa principalmente en realizar la caracterización geomecánica del macizo rocoso presente en el desarrollo principal de la contrata minera Maurinho y diseñar el sostenimiento de las cuñas subterráneas de la roca pizarra circundante tomando en cuenta las características.

#### **1.5 Limitaciones del estudio**

El presente trabajo de investigación será realizado en la contrata Minera Maurinho en la zona denominado planeamiento Rytty Pata inferior de la Unidad Económica Administrativa Ana María I y IV” ubicado en la cordillera oriental del sur del Perú, en el departamento de Puno, provincia San Antonio de Putina, distrito de Ananea, cuyas coordenadas U.T.M., 451 806.40 E, 8 383 466.98 N, a una altitud de 4,850 metros sobre el nivel del mar.



## 1.6 Viabilidad del estudio

El trabajo de investigación es viable por la financiación económica por parte de la Contrata Minera Maurinho en la cual se desarrollara, contando así con el apoyo de materiales, equipos y personal tanto en campo como en oficinas para la realización del estudio, así mismo es viable porque la investigación será de conocimiento del operador minero a cargo de la contrata, y también para el personal colaborador, de esa forma podrán realizar sus trabajos operacionales de forma segura y confiable, lo cual será reflejado en la reducción de sus índices de accidentes y la rentabilidad de sus operaciones mineras.



## CAPÍTULO II

### REVISION DE LA LITERATURA

#### 2.1 Antecedentes de la investigación

Chura Lope Wilberth (2016), tesis titulado “Caracterización geomecánica del macizo rocoso y su aplicación en el diseño de sostenimiento en labores de desarrollo de la unidad económica administrativa Ana María – la Rinconada”; para optar el título profesional de Ingeniero de Minas presentado a la facultad de Ingeniería de Minas – UNA – PUNO., en cuyas Conclusiones Indica. La clasificación geomecánica obtenido en la ejecución del presente proyecto nos da a conocer que según el RMR<sub>89</sub> de Bieniawski, da como resultado una calidad de tipo III, roca regular en pizarra y calidad buena tipo II en cuarcita, el dominio estructural de la caracterización geomecánica en ambas calidades de rocas se muestra es un mecanismo de falla de tipo cuña, debido a un comportamiento de discontinuidades de dos a tres familias presentes. Los valores del índice Q de Barton, están muy estrechamente relaciona a la calidad de roca, sugiriendo el tipo de sostenimiento a utilizar, el cual da como resultado aplicar un sostenimiento por refuerzo activo de pernos de anclaje con longitudes de 1.8 metros (6 pies), a un espaciado que interactúan entre 1.5 a 3 metros, empernados de forma puntual o sistemática sin refuerzo de concreto lanzado. Los pernos anclaje utilizados en el diseño de sostenimiento es el perno helicoidal de 19 milímetros de diámetro por 1.8 metros de largo (6 pies) y su alta resistencia a la fluencia y tracción de 14 a 19 TM, con cartuchos encapsulantes de resina y cemento según el área a sostener, esto debido a que el proyecto en una labor permanente de desarrollo.

Condori A. E. (2010), tesis titulado “Evaluación geomecánica de San Andrés de la mina La Rinconada”; para optar el título profesional de Ingeniero Geólogo, presentado a la



escuela profesional de Ingeniería Geología – UNA - PUNO., en cuya Conclusión Indica: El comportamiento de los parámetros geomecánicos, está directamente relacionado a los planos de fractura miento; que constituye los principales sistemas de discontinuidades dominantes están caracterizados por dos familias y una aleatoria, que en la mayoría de los casos se encuentran paralelo a los planos estratificados.

Soto Vilca Angel Christopher (2016), tesis titulado “diseño de sostenimiento en el túnel Wayrasencca - Ollachea” para optar el título profesional de Ingeniería de Minas, presentado a la Facultad de Ingeniería de Minas – UNA – PUNO en cuya Conclusión Indica: Las características estructurales y geológicas de la zona de estudio, determinaron las clasificaciones de Roca RMR y Q, además determinaron la clasificación de los suelos (material fluvio glaciar) presentes en el portal de entrada y de salida del túnel. Dichas clasificaciones determinaron el tipo de sostenimiento a utilizar en los tramos de Roca según las recomendaciones de Bieniawski y Barton. Las características geotécnicas presentes en el Túnel Wayrasencca están condicionadas a las características geológicas y estructurales del macizo rocoso. Estas características fueron medidas e identificadas en campo o zona de estudio. Todo el tramo del túnel se encuentra emplazada en tramos distintos de roca y material fluvio glaciar. Se obtuvieron las proyecciones estereográficas de los planos mayores principales y secundarios de las características estructurales del macizo rocoso. Para la representación e interpretación de las proyecciones estereográficas se utilizó el software Dips 6.0, estas a su vez se utilizaron para realizar el análisis y verificación del diseño de sostenimiento con el software Unwedge 3.0. en donde se obtuvieron un factor de seguridad mínimo de 3.611 en las cuñas perimetrales en el sector R-3 y un factor de seguridad mínimo de 3.415 en fallas planares en el sector R-4. Esto significa que el túnel se encontrará estable si se cumple con los procedimientos de excavación, avance y sostenimiento establecidos para cada unidad litológica.

Aquilino Bustamante Murillo (2008) tesis de post grado titulado “Geomecanica Aplicada en la prevención de pérdidas por caída de rocas Mina Huazanla – Cia Minera Santa Luisa S.A.” Para optar el grado de Maestro Con mención en Seguridad y Salud Minera en la Universidad Nacional de Ingeniería en cuya Conclusión Indica. El software phase2 es



una herramienta importante que permite determinar entre otras cosas el tipo de sostenimiento de labores, tipo de voladura a realizar, determinar la sección de excavaciones subterráneas a realizar.

Víctor Sandrino Rivero abarca (octubre 2008) Evaluación Geomecánica de Estrategias de Socavación en Minería Subterránea Memoria universidad de Chile Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas Departamento de Ingeniería de Minas, memoria para optar al título de ingeniero civil de minas Como Comentario Personal, se destaca que los primeros dos resultados parecen categóricos, sin embargo, el resultado de los análisis a los pilares del nivel de producción merece una mirada algo más profunda, debido a las posibles fuentes de error geométricas que podrían haber influenciado los resultados. Además, la geometría de estos pilares, bastante más compleja en comparación a los pilares entre calles de hundimiento, provoca excesivas concentraciones de esfuerzos en las esquinas, lo que pudo distorsionar algunos resultados.

Sindy Lorena Burgos Cedeño (Santiago de Chile 2015) universidad de Chile facultas de ciencias físicas y matemáticas departamento de ingeniería de minas desarrollo de herramienta de diseño para la estabilidad de excavaciones con entrada de personal tesis para optar al grado de Magister en Minería. Frente a este escenario, el modelamiento numérico resulta una opción interesante para el análisis de problemas asociados con el diseño de soporte. Por esta razón a lo largo de este trabajo se modeló numéricamente el comportamiento del soporte (pernos y shotcrete) sugerido por Barton (1974) a lo largo de diferentes condiciones geomecánicas del macizo rocoso manteniendo un ancho de excavación constante.

(Artículo de Investigación) “Caracterización y Clasificación Geomecánica del Macizo Rocos del Sector la Sierra, Sogamoso, Boyacá, Colombia” Albarracín Sepúlveda Olga Lucía, Gómez Acevedo Diana Carolina (año no especifica) en sus Conclusiones Indica. De acuerdo a los datos tomados en campo y mediante la utilización del software Dips se determinaron dos familias de discontinuidades en el macizo, las cuales se pueden observar en los diagramas de polos, frecuencias y rosetas. Las direcciones que



predominan en la familia número 1 del macizo son: N40E, N44E, N45E, N46E. Las direcciones de buzamiento que predominan en la familia número 2 del macizo rocoso son: N64W, N63W, N62W, N60W. El espaciado característico para la familia número 1 son: muy junto (20 y 60 mm) y junto (60 a 200). El espaciado que predomina en la familia número 2 es moderadamente junto (MJ). Las rugosidades que predominan en el macizo son escalonada rugosa (EI) y escalonada lisa (EII). Las aberturas que predominan en la familia número 1 son: Muy cerrada (MC) y Parcialmente abierta (PA). La abertura que predomina en la familia número 2 es: parcialmente abierta (PA). De acuerdo con los resultados obtenidos se determinó que este presenta una alta infiltración. La continuidad que predomina en la familia número 1 es una continuidad media (CM). Las continuidades que predominan en la familia número 2 son: alta continuidad (AC) y muy alta continuidad (MC). Según las clasificaciones RMR, Q, y el índice de calidad de la roca RQD, las propiedades Geomecánicas del macizo tienden a ser de mala calidad.

## **2.2 Bases Teóricas**

### **2.2.1 Geología regional**

Representada por pizarra, y cuarcita y filitas prácticamente la mayor parte de la cordillera oriental, variando hacia la cuenca del Titicaca constituido de areniscas, conglomerado, lutitas rojas y verdes, calizas bioclásticas, cuaternario constituido de limos, arcillas, arenas y materias detrítico heterogéneo y los intrusivos. (Antenor, 1996).

#### **2.2.1.1 Estratigrafía regional**

##### **Paleozoico inferior**

Grupo Ambo constituido por conglomerados arenisca con estratificación oblicua, areniscas sub arcosas y lutitas negras, su espesor alcanza 2000 metros; Grupo Tarma conformado por areniscas Cuarzosas y sub arcosas finas se le asigna 700 metros de



espesor, ambos grupos pertenecen al (carbonífero inferior – superior respectivamente); grupo Copacabana constituido de calizas bioclásticas intercaladas con arenisca con un espesor de 700 metros (pérmico – inferior)

### **Paleozoico superior**

Grupo ambo por conglomerados arenisca con estratificación oblicua, areniscas sub arcosas y lutitas negras, su espesor alcanza un aproximado de 2000 metros, grupo Tarma conformado por areniscas cuarzosas y sub arcosas finas se le asigna un espesor de 700 metros de espesor, ambos grupos pertenecen al (Carbonífero inferior – superior respectivamente); grupo Copacabana constituido de calizas bioclásticas intercaladas con arenisca con un espesor de 700 metros (pérmico – inferior)

### **Cretácico medio**

Grupo Cotacucho (km – c) constituido de areniscas cuarzosas sub arcosas con grano medio y conglomerados, tiene un espesor de 500 metros. Cretacico Superior, formación vilquechico (ks – v) constituido de areniscas de grano fino a medio y lutitas verdes, con un espesor de 550metros.

### **Cenozoico**

Formación Muñani (Ti – m) constituido de lutitas rojas, conglomerados y areniscas, con un espesor de 720 metros cuyo afloramiento resaltante se encuentra en la misma localidad de Muñani (ts – m) constituido de Ignimbritas pórfidos daciticos espesor de 30 metros.



## **Cuaternario**

Depósitos fluvioglaciares y aluviales (Q – fg Q –al) constituido de limos, arcillas, arenas, material detrítico heterogéneo.

## **Intrusivo**

En la zona el intrusivo pegmático constituido de cuarzo lechoso, en forma de dique con espesores que oscilan de 1,2 y 4 metros y lenticular de 2, 5, 10,15 metros respectivamente los cuales afloran en superficie a lo que se les adjudica los generadores de la mineralización de los mantos y vetas.

### **2.2.1.2 Geología local**

En la Unidad Económica Administrativa se encuentran las formaciones Sandia y Ananea ambas fueron definidas inicialmente por (Velásquez 2010). La formación Sandia cubre gran parte de la Cordillera Oriental, el contacto estratificado de la formación Ananea es posiblemente anormal a través de un sobre escurrimiento, sus características patológicas de la formación Sandia fueron descritas en el valle de Sandia – Cuyo Cuyo (Ordovícico medio). La Formación Ananea fue asignada al Silurico Devoniano, ver cuadro 1. La información infra yacente están relacionado a un fallamiento inverso el cual muestra a la Formación Sandia cabalgando a la Formación Ananea. El Cuaternario está representado por depósitos glaciares. (Antenor 1996).

Cuadro 01 Columna lito estratificada

EDAD m.a.	EON	ERATEMA	SISTEMA	SERIE	UNIDADES LITOESTRATIGRAFICAS	POT. (m)	LITOLOGICA	DESCRIPCION
Hoy	FANEROZOICO	CENOZOICO	CUATERNARIO	HOLOCENO	Depósitos fluvio-glaciares y aluviales Q – fg Q – al	50		Limos, arcillas, arenas, material detrítico heterogéneo
0.005				PLEISTOCENO		120		
2.5			NEOGENO	PLIOCENO	Volcánicos Macusani Ts – m	30		Ignimbritos, porfidos, dacíticos
07				TERCIARIO PALEOGENO	EOCENO	Formación Muñani Ti – m	720	
38			PALEOCENO					
65		MESOZOICO	CRETASICO	SUPERIOR	Formación Vilquechico Ks – v	550		Lutitas Verdes Arenisca de grano fino y medio.
141				MEDIO	Grupo Cotacuchu Km – c	500		Areniscos cuarzosos sub arcasicos con grano medio. conglomerados
230		PALEOZOICO	CARBONIFERO	PERMICO	Grupo Copacabana Pi – c	700		Calizas bioclásticas finos intercalados con areniscos
280				PENNSYLVANIA-NO	Grupo Tarma Cs – f	700		Areniscos cuarzosos de grano fino a medio con tonalidad verdoso
				MISISIPIANO	Grupo Ambo Ci – a	2000		Lutitas negras areniscas de grano fino y medio. Conglomerados y areniscas gruesas
347			DEVONICO		Formación Ananea SD – a	500		Pizarras negras, y cuarcita.
395			SILURICO					
435			ORDOVISICO	SUPERIOR	Formación Sandía Os – s	2000		Pizarras negras con interrelación de cuarcita y filitas.

Fuente: velasquez, (2010) Evaluacion del yacimiento Cumuni –santa Ana. Puno, peru



## **Roca pizarra**

La roca pizarra es de tipo foliada de grano muy fino de (0.5 milímetros promedio) compuesta por pequeños cristales de micas, demasiado pequeño para ser visibles, sin embargo el aspecto de la roca pizarra no es brillante es casi parecido a la roca lutita. Una característica de la roca pizarra es su tendencia a romperse en laminas planas.

La roca pizarra es de tipo metamorfo en grado muy bajo de lutitas, el color de la roca pizarra de sus constituyentes y también depende de los minerales. La roca pizarra (de color carbon) contienen materia orgánica, la roca pizarra roja deben su color al óxido de hierro y las verdes contienen normalmente clorita.

## **Filita**

La filita es un tipo de roca metamorfo entre la roca pizarra y los esquistos contienen minerales planares y son más grandes que los de la roca pizarra, pero no bastante como para ser fácilmente identificadas a simple vista, aunque la filita parece similar a la roca pizarra, puede distinguirse con facilidad por su brillo satinado y su superficie ondulada.

Normalmente muestra pizarrosidad y esta compuesta fundamentalmente por cristales muy finos de moscovita, clorita y ambas.

## **Esquistos**

También son rocas metamorfo de grano medio a grueso en las que predominan los minerales planares, la mica moscovita y biotita, que exhiben un alineamiento planar que da a la roca una textura foliada. Además los esquistos contienen cantidades menores de otros minerales a menudo cuarzo y feldespato.



## Cuarcita

Es el tipo de roca dura formada a partir de arenisca con contenido de cuarzo bajo las condiciones metamórficas de grado moderado a elevado, los granos de cuarzo de la arenisca se funden con brizas de vidrio. La cristalización es tan completa cuando se rompe, la cuarcita desciende a través de los granos de cuarzo originalmente, en lugar de hacerlo a lo largo de sus límites.

En algunos casos se conservan estructuras sedimentarias del tipo de la estratificación cruzada y dan a la roca un aspecto ondulado, la cuarcita pura es de color blanco, pero los óxidos de hierro pueden producir tintes rojizos o rosados, mientras que los granos de minerales oscuros pueden colorearla de gris oscuro.

**Cuaternario:** Los depósitos cuaternarios, están representados por materiales glaciares, fluviales. La litología consta de clastos angulosos y redondeados de pizarras cuarcitas, y cuarzo, el material fino constituido por limos y arcillas. (Velasquez, 2010).

## Formación Sandía

Ordovícico – Superior, en la zona de estudio aflora ampliamente una secuencia de rocas pizarras de color negro, cuarcita y filita. (Velasquez – 2010)

Datos de la formación Sandía

Espesor = +/- 2000 metros.

Rumbo = NW – SE.

Tamaño de grano = Medio a fino.

Color = Gris oscuro a negro.



Variedad d la roca = Pizarra negra, intercalacion de cuarcita y filitas.

### **Formacion Ananea**

Silúrico – Devónico en la Unidad Economica Ana Maria, aflora en contacto (sobre escurrimiento) con la Formacion Sandia una secuencia de pizarras negras y cuarcitas.

(Velasquez – 2010)

Datos de la Formacion Ananea

Espesor = +/- 500 metros.

Rumbo = NW – SE.

Tamaño de grano = Gris oscuro y negro.

Variedad de roca = Pizarra negra y cuarcita.

La textura es variable debido a que la sedimentacion ha sido en cuencas intercontinentales. El termino formacion Sandia y Ananea, fue dado por el geólogo David Velasquez Condori, asignándole una edad Siluro – Devoniano. (Velasquez – 2010).

### **2.2.2 Clasificacion geomecánica RMR de Bieniawski**

Bieniaswski (1989) publicó los detalles de una clasificacion de la masa rocosa denominada sistema de clasificacion Geomecánica o valoracion de la masa rocosa RMR (Rock Mass Rating). A través de los años, este sistema ha sido modificado sucesivamente conforme han ido examinando más casos registrados, y se advierte al lector que Bieniawski hizo cambios significativos en las valoraciones asignadas a los diferentes



parametros. Los siguientes seis parámetros son usados para clasificar una masa rocosa con el sistema RMR.

La definicion de las condiciones “muy favorables a muy desfavorables” aparece en la ultima son recomendaciones inicialmente propuestas en el sistema RSR.

- Resistencia compresiva uniaxial del material rocoso.
- Designacion de la calidad de roca(RQD).
- Espaciamiento de las discontinuidades.
- Condición de las discontinuidades.
- Condiciones del agua subterranea.
- Orientacion de las discontinuidades. (Hoek, 2000)

### **2.2.3 Recomendaciones de sostenimiento según el RMR de Bieniawski 1989**

Este soporte está idealizado para una seccion en herradura de 10 m de diametro y que soporta una presion de 25 MPa, equivalente a 1000m de cobertura se muestra a continuacion en la tabla 2.1.

Cuadro 02 *Parámetros y rango de valores para la clasificación geomecánica RMR<sub>89</sub>*

Parámetros			Rango de valores						
1	Resistencia de la matriz rocosa (MPa)	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	52 5 MPa	1-5 MPa	< 1 MPa
	puntuación	15	12	7	4	2	1	0	
2	RQD		90-	75-90%	50-75%	25-50%	25%		
	puntuación		10020 %	17	13	8	3		
3	Espaciado de las discontinuidades		> 2 m	0.6-2 m	0.2-0.6 m	6-20 cm	< 6 cm		
	puntuación		20	15	10	8	5		
4	Estado de las discontinuidades	Longitud de la discontinuidad	< 1 m	1-3 m	3-10 m	10-20 m	> 20 m		
		puntuación	6	4	2	1	0		
		Abertura	Nada	< 0.1 mm	0.1-1.0	1-5 mm	> 5 mm		
		puntuación	6	5	mm3	1	0		
		Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Ondulada	Suave		
		puntuación	6	5	3	1	0		
		Relleno	Ninguno	Relleno duro < 5 mm	Relleno duro > 5 mm	Relleno blando < 5 mm	Relleno blando > 5 mm		
		puntuación	6	4	2	2	0		
		Alteración	Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadamente alterada	Muy alterada	Descompuesta		
puntuación	6	5	3	1	0				
5	Agua freática	Relación Pagua / Pprinc	0	0-0.1	0.1-0.2	0.2-0.5	> 0.5		
		Condiciones generales	Completamente secas	Ligeramente húmedas	Húmedas	Goteando	Agua fluyendo		
	puntuación		15	10	7	4	0		

Fuente: Bieniawski, Z.T. 1976. Rock mass classification in rock engineering. In Exploration for rock engineering, proc. of the symp., (ed. Z.T. Bieniawski) 1, 97-106. Cape Town: Balkema.

Cuadro 03 *Guía de sostenimiento primario según el RMR.*

Clase macizo	Tipo de excavación	Soportes primarios		
		Pernos – malla	Hormigón lanzado	Perfil metálico
<b>I</b>	Sección completa, avance hasta 3 metros.	Generalmente no requiere soporte con la excepción de pernos ocasionales.		
<b>II</b>	Sección completa, avance de 1 a 1.5 metros soporte completo a 20 metros del frente.	Pernos sistemáticos de 3 metros espaciados a 2.5 metros, malla ocasional en ciertas zonas del techo.	Hormigón lanzado sin fibra, 5 centímetros en el techo si fuera necesario.	Ninguna
<b>III</b>	Sección completa, calota y banqueo. Avance de 1.5 a 3 metros, instalación del soporte después de cada voladura, soporte completo a 10 metros del frente.	Pernos sistemáticos de 4 metros espaciados a 2 metros en techo y paredes. Malla en el techo.	Hormigón lanzado sin fibra, 5 a 10 centímetros en el techo. 3 centímetros en las paredes.	Ninguna
<b>IV</b>	Sección completa, calota y banqueo. Avance de 1 a 1.5 metros. Instalación del soporte junto a la excavación.	Pernos sistemáticos de 4 a 5 metros de longitud, espaciados de 1 a 1.5 metros malla en el techo y las paredes	Hormigón lanzado sin fibra de 10 a 15 centímetros en el techo, y 10 centímetros en las paredes.	Perfiles livianos espaciado a 1.5 metros uno de otro.
<b>V</b>	Secciones múltiples, avance de 0.5 a 1.5 metros. Instalación del soporte junto a la excavación. Hormigón lanzado luego de cada voladura.	Pernos sistemáticos de 5 y 6 metros de longitud espaciados de 1 a 1.5 metros. Pernos en la solera, inclusive malla en el techo y las paredes.	Hormigón lanzado sin fibra de 10 a 15 centímetros en el techo, 10 centímetros en las paredes.	Perfiles medianos a pesados, espaciados de 0.8 metros uno de otro, serrando a través de la

Fuente (Bieniawski 1989).



## Parámetros que considera la clasificación RMR de Bieniawski 1989

**Resistencia de la roca:** Tiene una valoración máxima de 15 puntos, y puede utilizarse como criterio del ensayo de resistencia a compresión simple o bien el ensayo de carga puntual (Point Load).

## Índice de designación de la calidad de rocas (RQD)

El índice de designación de la calidad de la roca (RQD) fue desarrollado por (Deere 1967) Para proveer un estimado cuantitativo de la calidad de la masa rocosa a partir de los testigos de la perforación diamantina. El RQD está definido como el porcentaje de piezas de testigos intactos mayores de 100mm (4 pulgadas) en la longitud total del testigo. El testigo deberá tener por lo menos un tamaño NX (54.7 mm o 2.15 pulgadas de diámetro) y deberá ser perforado con un cilindro de doble tubo de perforación el procedimiento correcto para medir las longitudes de testigo y el cálculo del RQD son resumidos con dos tipos de parámetros.

$$1) RQD = 115 - 3.3J_v$$

$$2) RQD = 100e^{-0.1\lambda(0.1\lambda+1)}$$

Donde  $\lambda$  es el número de juntas por metro lineal, por este método se determinó el RQD.

## Separaciones entre discontinuidades

Tiene una valoración máxima de 20 puntos. El parámetro considerado es la separación en metros entre juntas de la familia principal de diaclasas de la roca.



## **Estado de las discontinuidades**

Es el parámetro que más influye, con una valoración máxima de 30 puntos. Pueden aplicarse a los criterios generales, en la que el estado de las diaclasas se descompone en otros cinco parámetros: persistencia, apertura, rugosidad, relleno y alteración de la junta.

## **Presencia de agua**

La valoración máxima es de 15 puntos, ofrece tres posibles criterios de valoración: estado general, caudal cada 10 metros de túnel y relación entre la presión del agua y la tensión principal mayor en la roca.

## **Orientación de las discontinuidades**

Este parámetro tiene una valoración negativa, oscila para túneles entre 0 – 12 puntos. En función del buzamiento de la familia de diaclasas y de su rumbo, en relación con el eje del túnel (paralelo o perpendicular), se establece una clasificación de la discontinuidad en cinco tipos: desde muy favorable hasta favorable hasta muy desfavorable.

## **El RMR (Rock Mass Rating) clasificación de la masa rocosa**

Se obtiene como una suma de unas puntuaciones que corresponden a los valores del RMR (Rock Mass Rating) oscila entre 0 y 100, y es mayor cuanto mejor es la calidad de la roca, esta clasificación geomecánica se basa en el índice RMR (rock Mass Rating), queda una estimación de la calidad del macizo rocoso. Estos factores se cuantifican mediante una serie de parámetros definiéndose unos valores para dichos parámetros, cuya suma en cada caso nos da el índice de la Calidad del RMR (Rock Mass Rating) que varía entre 0 – 100. Los objetivos de esta clasificación son:

- Determinar y/o estimar la calidad del macizo rocoso.
- Dividir el macizo rocoso en grupos de conducta análoga.



- Proporcionar una buena base de entendimiento de las características de macizo rocoso.
- Facilitar la planificación y el diseño de estructuras en roca, proporcionando datos cuantitativos necesarios para la solución real de los problemas de ingeniería.

Se clasifican las rocas en 5 categorías. ( Bieniawski, 1989).

#### 2.2.4 Sistema de clasificación del Q de Barton

Denominada clasificación de Barton, fue desarrollada en Noruega en 1974; por Barton; Lien, y en el Instituto Geotécnico Noruego. Se basó su estudio en el análisis de cientos de casos de túneles construidos principalmente en Escandinavia, en 1974.

La clasificación Q, de Barton asigna a cada terreno un índice de calidad Q, tanto mayor, cuanto mejor, es la calidad de la roca. Su variación no es lineal como la del RMR, sino exponencial y oscila entre  $Q = 0,001$  para terrenos muy malos y  $Q = 1000$ ; para terrenos muy buenos; el valor de Q, se obtiene de la expresión.

$$Q = \frac{RQD}{jn} \times \frac{J_r}{j_a} \times \frac{J_w}{SFR}$$

#### Parámetros que considera la clasificación Q de Barton

##### RQD (Designación de la Calidad de Rocas)

Es el índice de la calidad de roca Rock Quality Designation es decir, la relación en tanto por tanto por ciento entre la suma de las longitudes de testigo de un sondeo mayores a 10 centímetros y la longitud total, Barton indica que basta tomar el RQD, en incremento de 5 en 5 y como mínimo tomar  $RQD = 10$ .

**J<sub>n</sub>** (Número de familias): varía entre 0.5 y 20 depende del número de familia de juntas que hay en el macizo.



***Jr*** (Coeficiente de rugosidad de la roca): varía entre 1 y 4 depende de la rugosidad de las juntas.

***Ja*** (Coeficiente de alteración de las juntas): varía entre 0.75 y 20 y depende del grado de alteración de las parees de las juntas de la roca.

***Jw*** (Coeficiente reductor para la presencia de agua): varía entre 0.05 y 1, dependiendo de la presencia de agua en el túnel.

***SFR***. Son las siglas de Stress Reduction Factor ( Factor reductor por Tensiones en el Macizo Rocoso), depende del estado tensional de la roca que atraviesa el túnel.

Para la obtención de cada uno de los cinco últimos parámetros, Barton aporta tablas, donde se obtienen los valores correspondientes en función de la descripción generalizada del macizo rocoso. Además, los coeficientes del producto tienen un significado especial.

***(RQD/Jn)***: Indica el tamaño del bloque ( ver Tabla 2.2 y Tabla 2.3).

***(Jr/Ja)***: Resistencia al corte ente los bloques.

***(Jw/SRF)***: Influencia del estado tensional.

Tabla 2.2 Calidad del testigo “RQD” en la Q de Barton

<b>A</b>	Muy mala	0.25
<b>B</b>	Mala	25 - 50
<b>C</b>	Media y/o Regular	50 - 75
<b>D</b>	Buena	75 - 90
<b>E</b>	Excelente	90 - 100

Fuente: (Deere, Peck Parker, Monsees, & Schmidt, 1970)

**Nota:** Cuando se obtienen valores de RQD inferiores o iguales a 10 se toma el valor de 10 sin embargo el valor de 10; para calcular Q. Los intervalos de 5 unidades para RQD es decir 100, 95, 90 se tiene suficiente precisión.

Tabla 2.3 valoración del índice de diaclasado  $J_n$

<b>A</b>	Roca masiva, sin diaclasa o fisuración escasa.	0.5 - 10
<b>B</b>	Una familia de diaclasa.	2
<b>C</b>	Una familia y alguna diaclasa aleatoria.	3
<b>D</b>	Dos familias de diaclasas.	4
<b>E</b>	Dos familias y algunas diaclasas aleatorias.	6
<b>F</b>	Tres familias de diaclasas.	9
<b>G</b>	Tres familias y algunas diaclasas aleatorias.	12
<b>H</b>	Cuatro a más familias de diaclasa aleatoria, roca fracturada roca en terrenos.	15
<b>I</b>	Roca triturada, terrosa.	20

Fuente: (Deere etal. 1970)

**Nota:** En intersección de túneles se utiliza la expresión (3  $J_n$ ). En las bocas de los Túneles se utiliza la expresión (2  $J_n$ ).

### Valorización del índice de rugosidad $J_r$ de las discontinuidades

- a) Contacto entre dos caras de la discontinuidad.
- b) Contacto entre las dos caras de la discontinuidad ante un desplazamiento cortante inferior a 10 centímetros. Se muestra en la tabla 2.4.

Tabla 2.4 Valoración del índice de rugosidad, zonas con contacto entre dos caras

<b>A</b>	Diaclasa continua.	4
<b>B</b>	Diaclasas onduladas, rugosas o irregulares.	3
<b>C</b>	Diaclasas onduladas lisas.	2
<b>D</b>	Diaclasas onduladas, perfectamente lisas.	1.5

<b>E</b>	Diaclasas planas, rugosas o irregulares.	1.5
<b>F</b>	Diaclasas planas, lisos.	1.0
<b>G</b>	Diaclasas planas, perfectamente lisas.	0.5

Fuente: (Barton & Bandis, 1976)

**Nota:** Las descripciones se refieren a caracterizaciones a pequeña escala y escala intermedia, por este orden.

No existe contacto entre las caras de la discontinuidad ante un desplazamiento cortante.

- c) Sin contacto de roca después de un cizallante de 10 centímetros (Ver tabla 2.5)

Tabla 2.5 Valoración del índice de rugosidad, zonas sin contacto de roca

<b>H</b>	Zona que contiene minerales arcillosos con un espesor suficiente para impedir el contacto de las caras de la discontinuidad.	1.0
<b>J</b>	Zona arenosa, de grava o triturada con un espesor suficiente para impedir el contacto entre las dos caras de la discontinuidad.	1.0

Fuente (Barton, Lien, & Lunde 1974)

**Nota:** Si el espaciado de la principal familia de discontinuidades es superior a 3 milímetros, se debe aumentar el índice  $J_r$  en una unidad. En el caso de diaclasas planas perfectamente lisas que presenten lineaciones, y que dichas lineaciones estén orientadas según la dirección de mínima resistencia, se puede utilizar valor  $J_r = 0.5$ .

La valoración de  $J_a$  de las discontinuidades, para contacto entre los planos de discontinuidad de acuerdo a los grados de relleno se muestra en la tabla 2.6.

Tabla 2.6 Valoración del índice de alteración de las discontinuidades Ja

Descripción		$\phi$	Ja
Contacto entre los planos de la discontinuidad (sin minerales de relleno intermedio)			
<b>A</b>	Discontinuidad cerrada, dura, sin reblandecimiento impermeable, cuarzo.	-	0.75
<b>B</b>	Planos de discontinuidades inalteradas, superficies ligeramente manchadas.	25 – 35°	1.0
<b>C</b>	Planos de discontinuidades ligeramente alterados, presentan minerales no reblandecibles, partículas.	25 – 35°	2.0
<b>D</b>	Recubrimiento de arcillas limosas o arenosas fracción pequeña de arcilla (no blanda).	20 – 25°	3.0
<b>E</b>	Recubrimiento de arcillas blandas o de baja fricción es decir, caolinita o mica, también clorita, talco, yeso, grafito, etc y pequeñas cantidades de arcilla expansiva	8 – 16°	4.0
Contacto entre los planos de la discontinuidad ante un desplazamiento cortante inferior a 10 centímetros (minerales de relleno en pequeños espesores).			
<b>F</b>	Partículas arenosas, rocas desintegrada libre de arcilla, etc	25 – 30°	4.0
<b>G</b>	Fuertemente sobre consolidados, con relleno de minerales arcillosos no blandos (continuos, pero con espesores inferiores a 5 milímetros).	12 – 16°	6.0
<b>H</b>	Sobre consolidado media a baja, con reblandecimiento, relleno de minerales arcillosos (continuos, pero de espesores interiores a 5 milímetros).	12 – 16°	8.0
<b>I</b>	Rellenos de arcillas expansivas, es decir tipo montmorillonita (continuos, pero con espesores a 5	6 – 12°	8 - 12

	milímetros). El valor de $J_a$ depende del porcentaje de partículas con tamaños similares a los de las arcillas expansivas.		
No se produce contacto entre los planos de la discontinuidad entre un desplazamiento cortante (relleno de mineral de gran espesor).			
<b>J K L</b>	Zonas o bandos de roca desintegrada o triturada y arcillas (Ver G, H e I para la descripción de condiciones de arcillas).	6 – 24°	6.8 8 - 12
<b>M</b>	Zonas o bandas de arcilla limosos o arenosas con pequeñas fracciones de arcilla no reblandecible.	-	5.0
<b>N O P</b>	Zonas o bandas continuas de arcilla de espesor grueso. (Ver clase G, H e I para describir condiciones de arcilla)	6 – 24°	10, 13 ó 13 - 20

Fuente: (Barton et al., 1974)

**Nota:** Los valores expresados para los parámetros  $J_r$  y  $J_a$  aplican a las familias de diaclasas o discontinuidades que son menos favorables con relación a la estabilidad tanto por la orientación de las mismas. Como su resistencia al corte. (Esta resistencia puede evaluarse mediante la expresión  $T \approx \sigma_n T_g - 1 (J_r/J_a)$ ).

El agua induce a tomar en cuenta un factor de reducción, (ver Tabla 2.7)

Tabla 2.7. Factor de reducción por la presencia de agua

	<b>Descripción</b>	<b>Presión de agua Kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>Jw</b>
A	Excavación seca o pequeñas afluencias.	<1	1.0
B	Afluencia a presión media, con lavado Ocasional de los rellenos de las discontinuidades.	1-25	0.66
C	Afluencia importante o presión alta en rocas competentes con discontinuidades sin relleno.	25-10	0.50
D	Afluencia importante o presión alta, produciéndose un lavado considerable de rellenos de diaclasas.	25-10	0.33
E	Afluencia excepcionalmente alta o presión elevada en el momento de realizar voladores decreciendo en el tiempo.	>10	0.2-0.1
F	Afluencia excepcionalmente alto o presión Elevada de carácter persistente, sin disminución apreciable.	>10	0.2-0.05

Fuente: (Barton N., 1988)

**Nota:** Los valores C, D, E y F, son meramente estimativos, se acometen medidas de drenaje puede incrementarse el valor Jw.

No se han considerado los problemas especiales derivados de la formación del hielo.

### Valoración de las condiciones tensionales de la roca (SRF)

Las zonas débiles intersecan a la excavación pudiendo producirse desprendimiento de roca a medida que la excavación vaya avanzando. La valoración SRF se da de acuerdo a las condiciones generales del macizo rocoso, pudiendo presentarse en 7 casos, los cuales se muestran a continuación en la Tabla 2.8.

Tabla 2.8. Valoraciones SRF

FACTOR DE REDUCCION DE TENSIONES		SRF
A	Múltiples zonas débiles, conteniendo arcilla o roca desintegrada químicamente, roca de contorno muy suelta (a cualquier profundidad).	10
B	Zonas débiles aisladas, conteniendo arcilla o roca desintegrada químicamente (profundidad de excavación $\leq 50$ m).	5
C	Zonas débiles aisladas, conteniendo arcilla o roca desintegrada químicamente (profundidad de la excavación $> 50$ m).	2.5
D	Múltiples zonas de fractura en roca competente (libre de arcillas) roca de contorno suelta (a cualquier profundidad).	7.5
E	Zona de fractura aislada en roca competente (libre de arcillas) (profundidad de excavación $\leq 50$ m).	5
F	Zona de fractura aislada en roca competente (libre de arcillas) (profundidad de excavación $> 50$ m).	2.5
G	Terreno suelto, diaclasa abiertos, fuertemente fracturado, en terrenos, etc. (a cualquier profundidad).	5

Fuente: (Barton et al., 1974)

**Nota:** Se reducen los valores expresados SRF entre un 20-50% si las zonas de fractura solo ejercen cierta influencia, pero no intersecan a la excavación. (Ver Tabla 2.9).

Tabla 2.9. Rocas competentes, problemas tensionales en rocas		$\sigma_c/\sigma$ ,	$\sigma_\theta/\sigma_c$	SRF
H	Tensiones pequeñas cerca de las superficies diaclasa abierta.	<b>&gt;200</b>	<b>&lt;0.01</b>	<b>2.5</b>
J	Tensiones medias, condiciones tensionales favorables.	<b>200 - 10</b>	<b>0.01 – 0.3</b>	<b>1</b>
K	Tensiones elevadas, estructura muy compacta normalmente favorable para la estabilidad, puede	<b>10 - 5</b>	<b>0.3 – 0.4</b>	<b>0.5 - 2</b>

	sr desfavorable para la estabilidad de los hastiales.			
L	Lajamiento modelado de roca después de 1 hora en rocas masivas.	5 - 3	0.5 - 0.65	5 - 50
M	Lajamiento y astillado de la roca después de algunos minutos en rocas masivas.	3 - 2	0.65 - 1	50 - 200
N	Estallidos violentos de la roca (deformación explosiva) y deformación dinámica inmediata en rocas masivas.	<2	>1	200 - 400

Fuente: (Barton et al., 1974)

Con los valores asignados a los parámetros, se calcula el valor numérico del índice Q de la siguiente manera:

$$Q = \frac{RQD}{jn} \times \frac{Jr}{ja} \times \frac{Jw}{SFR}$$

Este valor de Q, nos indica la descripción de la calidad del macizo rocoso. (Ver Tabla 2.10)

Tabla 2.10. Clasificación del macizo rocoso según Barton

Descripción	Valor "Q"
Excepcionalmente buena	400 - 1000
Extremadamente buena	100 - 400
Muy buena	40 - 100
Buena	10 - 40
Regular	4 - 10
Mala	1 - 4
Muy mala	0.1 - 1
Extremadamente mala	0.01 - 0.1
Excepcionalmente mala	0.001 - 0.01

Fuente: (Barton N., 1988)

### 2.2.5. Recomendaciones de sostenimiento según Barton

Se debe encontrar el diámetro equivalente de la excavación De:

$$De = \text{ancho o altura de la excavación en metros} / \text{ESR}$$

El ESR, es un coeficiente que depende del tipo de excavación (Ver Tabla 2.11)

Tabla 2.11. Coeficiente de soporte para el tipo de excavación, ESR

Cat.	Tipo de excavación	ESR
A	Excavación temporal para minería, etc.	2 - 5
B	Excavación minera permanente, túneles de aducción de agua, túnel piloto, galerías de avance en grandes excavaciones, cámaras de compensación hidroeléctrica.	1,6 - 2
C	Sala de almacenamiento, planta de tratamiento de aguas túnel de ferrocarril, túnel de acceso, chimeneas.	1.2 - 1.3
D	Centrales hidroeléctricas subterráneas, túneles importantes de camino o ferrocarril, intersecciones, refugios subterráneos para defensa civil.	0.9 - 1.1
E	Central nuclear subterránea, estación de ferrocarril, fábricas	0.5 - 0.8

Fuente: (Barton, Lien, & Lunde, 1974)

Se establece la longitud máxima sin soporte S:

$$S = 2 \text{ ESR } Q^{0,4}$$

Estos valores son los que normalmente se establecen como las longitudes de avance durante la excavación.

Se sigue la Figura 1 Que se presenta para establecer el sostenimiento

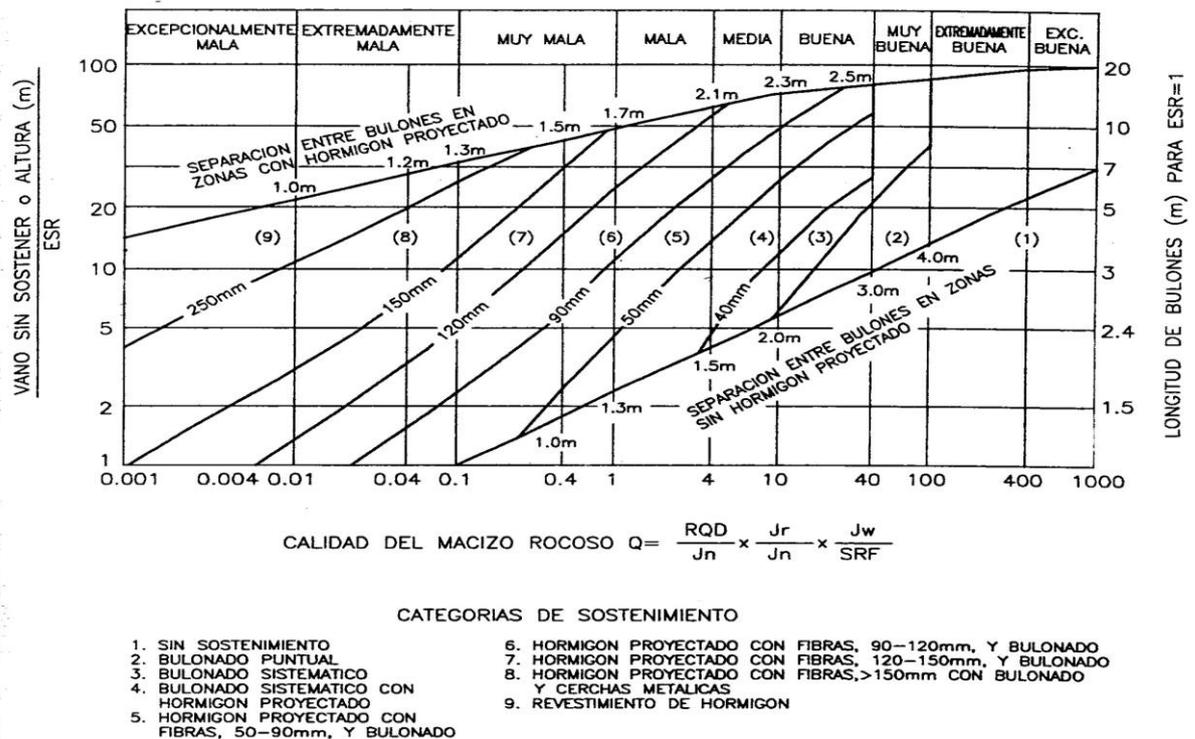


Figura 1. Ábaco sostenimiento del macizo rocoso según Barton  
Fuente: (Barton, Lien, & Lunde, 1974)

### 2.2.6. Parámetros de resistencia de las discontinuidades

Usamos el criterio Barton – Bandis (1976), para determinar la resistencia al corte de las discontinuidades abiertas. El modelo considera cambios en la resistencia con el esfuerzo normal y la rugosidad. Efectos de cohesión aparente están incorporados en la fórmula:

$$T = \sigma_n * T_g [JRC. \text{Log}_{10}(JCS / \sigma_n) + \phi_r]$$

$\phi_r$  : Angulo de fricción residual.

JRC : Coeficiente de rugosidad de la junta.

JCS : Resistencia a la compresión simple de las paredes de la discontinuidad.

Los parámetros  $\phi_r$  y JCS dependen del grado de meteorización. Para la determinación del ángulo de fricción residual, consideramos que las paredes de la discontinuidad están meteorizadas, por lo que usamos el martillo Schmidt:

$$\phi_r = (\phi_r - 20^\circ) + 20(r/R)$$

$\phi_r$  : Rebote del martillo en superficie meteorizada.

R : Rebote del martillo en superficie sana. (Barton & Bandis, 1976).

### 2.2.7. Familias de discontinuidades

Una familia de discontinuidades está constituida por aquellas que tienen orientaciones similares y el mismo origen. Por ello las familias se pueden determinar, representando los polos de las discontinuidades observadas en el macizo rocoso en una red polar equilateral mediante la plantilla de Schmidt, que se contornearan utilizando una plantilla de conteo equilateral para obtener la distribución de polos que representara todas las discontinuidades medidas en el macizo rocoso y donde se tratara de identificar y estimar las orientaciones medias de las familias. (Ramirez & Alejano, 2007)

### 2.2.8. Estructura geológica

La estructura geológica es uno de los factores que más influye en la estabilidad de una excavación subterránea. En rocas plegadas y estratificadas la orientación de los estratos condiciona diferentes modos de comportamiento frente a la estabilidad en un túnel, influyendo los siguientes factores:

- Buzamiento de la estructura con respecto a la sección del túnel.
- Dirección de la estratificación con respecto al eje del túnel.
- Tipo de pliegues. (Ver Figura 2)

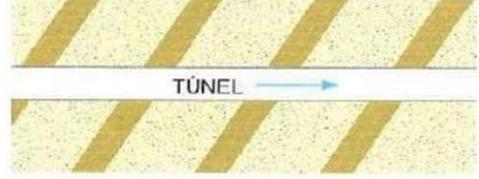
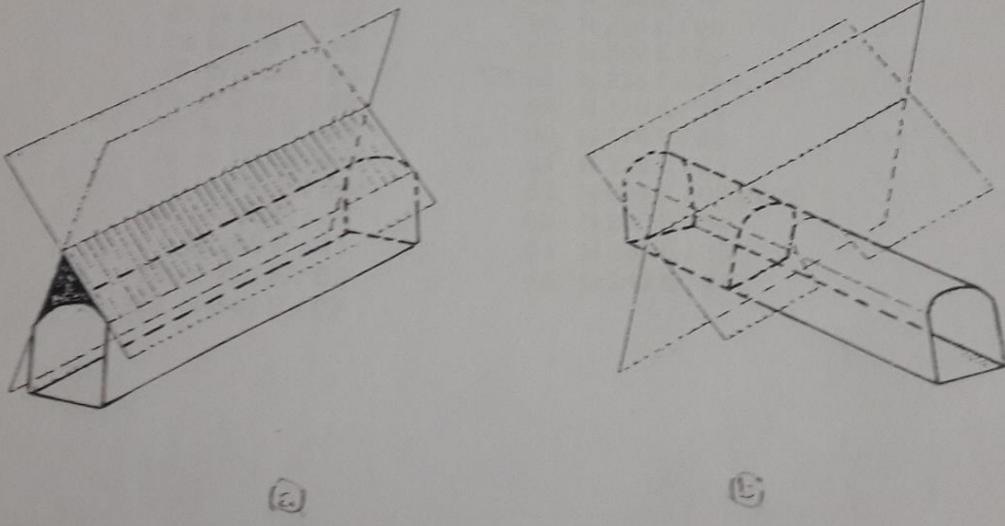
ORIENTACIÓN ESTRUCTURAL DESFAVORABLE	ORIENTACIÓN ESTRUCTURAL FAVORABLE
<p data-bbox="335 414 798 448">TÚNEL PARALELO A LA ESTRUCTURA</p> 	<p data-bbox="885 414 1428 448">TÚNEL PERPENDICULAR A LA ESTRUCTURA</p> 
	
<p data-bbox="438 1254 694 1288">PLIEGUE SINCLINAL</p> <ul data-bbox="327 1299 805 1344" style="list-style-type: none"> <li>• Distribución de tensiones desfavorable.</li> <li>• Flujo de agua hacia el interior del pliegue.</li> </ul>	<p data-bbox="1029 1254 1284 1288">PLIEGUE ANTICLINAL</p> <ul data-bbox="917 1299 1396 1344" style="list-style-type: none"> <li>• Distribución de tensiones favorable.</li> <li>• Flujo de agua hacia el exterior del pliegue.</li> </ul>

Figura 2. Influencia de la estructura geológica en la estabilidad de un túnel. Fuente: (Gonzales de Vallejo, 2002)

### 2.2.9. Influencia de las discontinuidades en la estabilidad

La mayoría de los problemas de estabilidad se deben a la intersección de la sección del túnel con planos de discontinuidad. Se distinguen las discontinuidades de tipo sistemático y las de tipo singular. Las diaclasas, planos de estratificación y de esquistosidad pertenecen al primer grupo, y están presentes prácticamente en todas las rocas, con mayor incidencia en zonas poco profundas, donde los procesos de meteorización y circulación de agua y los rellenos arcillosos son más frecuentes. A grandes profundidades la presión



confinante hace que la apertura de las discontinuidades sea menor, pudiendo llegar a estar muy cerradas.

Sin embargo, las discontinuidades más importantes bajo el punto de vista de la estabilidad son las de tipo singular, como las fallas; al estar sometidas estas estructuras a roturas y deformaciones a lo largo de su historia geológica su resistencia es muy baja, presentado rellenos monolíticos y rocas de falla que, además de tener baja resistencia, pueden constituir vías preferentes para la circulación de agua. Por otro lado, las fallas pueden acumular tensiones tectónicas importantes. En la Figura 3 se puede apreciar los casos de estratificación más probabilísticos en una excavación de túnel según la inclinación de las discontinuidades, se muestra los casos de sobre excavación y riesgos que pueden presentarse al momento de realizar la excavación subterránea.

El estudio de las fallas y demás discontinuidades singulares es uno de los aspectos Geológicos

Más importantes en un túnel. Para dicho estudio se requiere:

- Conocer la estructura tectónica regional y local.
- Cartografía geológica y análisis estructural.
- Identificación de fallas y su clasificación en función del origen, edad, tipo y geometría.
- Identificación de rellenos de falla, su resistencia y expansividad.
- Estudios sobre las implicaciones tensionales.

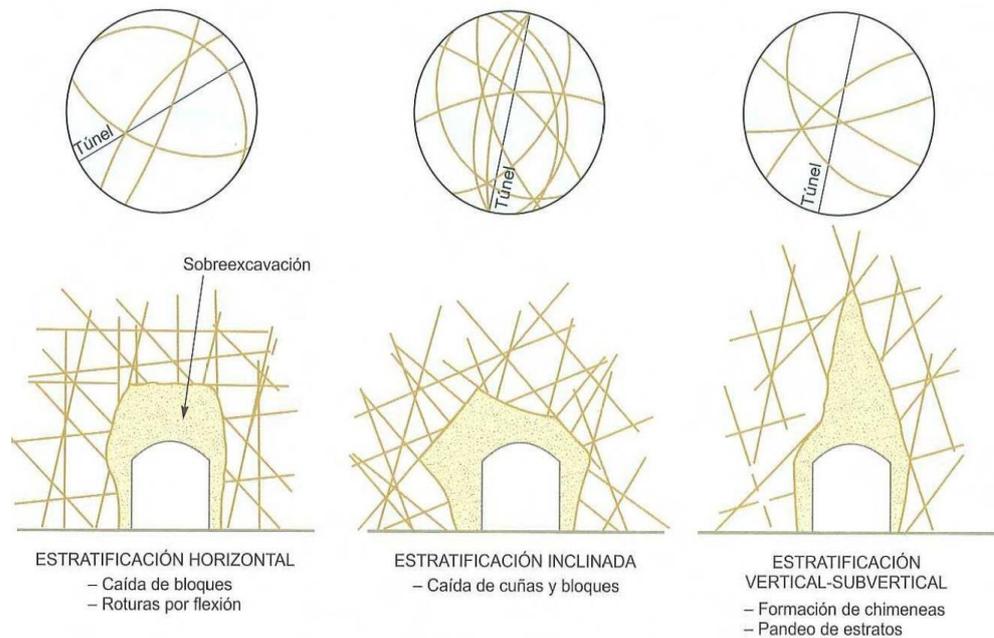


Figura 3. Influencia de las discontinuidades en la estabilidad de un túnel. Fuente: (Ibid., p. 496)

### 2.2.10. Análisis y representación de fallas

El método de representación y análisis más utilizado es la proyección estereográfica, que puede ser complementado con bloques diagramas o secciones transversales.

(Ver Figura 4)

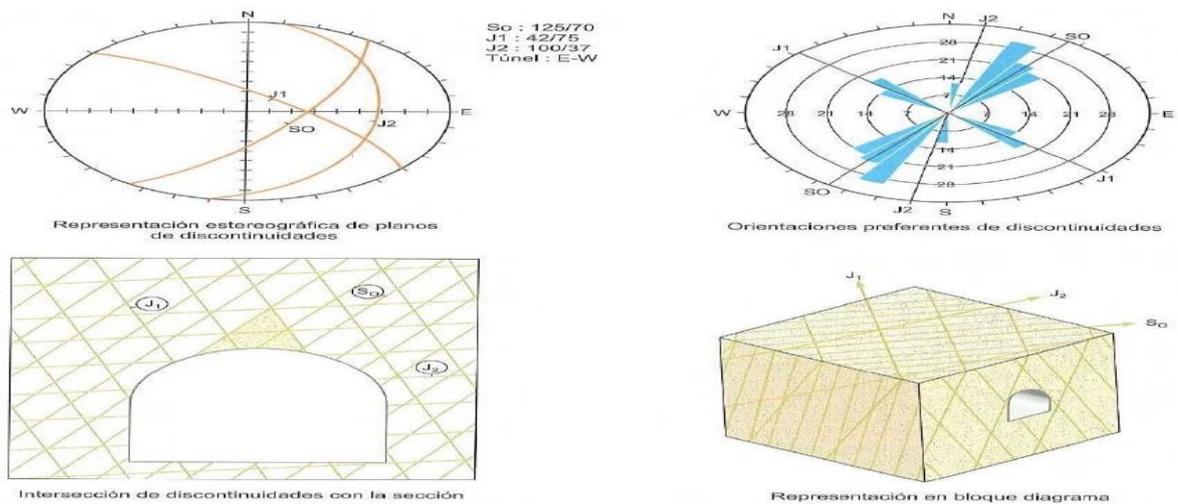


Figura 4. Representación y análisis de discontinuidades  
Fuente: (Ibid., p. 497)

### 2.2.11. Tipos de falla de pernos de roca

Los pernos de roca pueden fallar por: (1) falla por adherencia; (2) falla por tensión; (3) falla de la placa y (4) falla por corte. Los pernos y las placas tienen una categoría de 10 TM. La falla (2) y (3) ocurrirán cuando la capacidad del perno y la placa es superada, respectivamente; la falla (1) depende de dos factores: la longitud del perno que sobrepasa la cuña o longitud de empotramiento y su resistencia al corte. (Ver Figura 5)

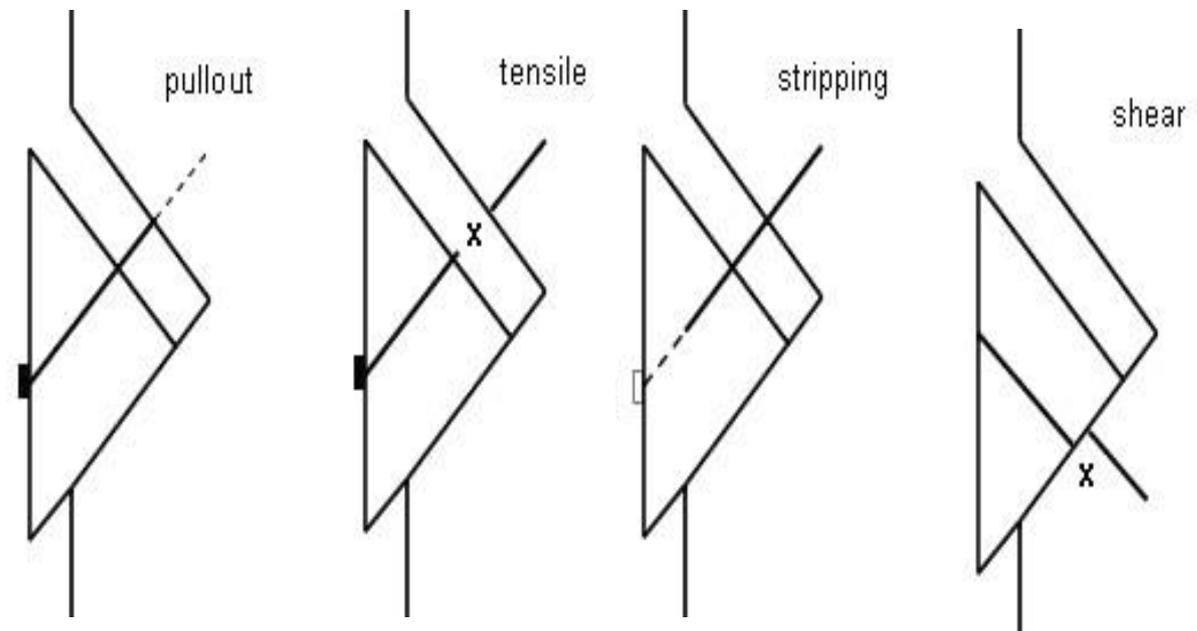


Figura 5. Tipo de falla en pernos de roca.

Fuente: (Barton N., 1988)

(1) Falla de la entre la lechada y la roca en la zona de empotramiento; (2) Falla por tensión; (3) Falla de la placa y (4) Falla por corte.

### 2.2.12. Tipos de falla del shotcrete

De acuerdo con el tipo de cuña formada, el peso de la cuña actúa como un peso en la capa de shotcrete, que puede fallar; (1) por corte; (2) por tensión diagonal; (3) por

adherencia y (4) por flexión. Los tipos de falla más ocurrentes en el shotcrete se muestran a continuación en la figura 6.

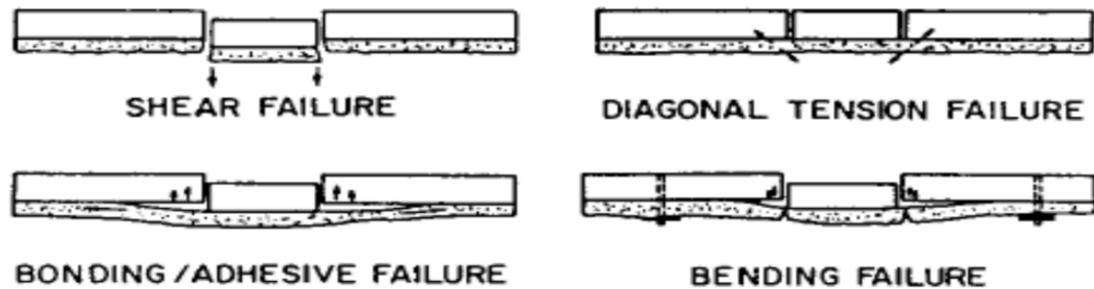


Figura 6. Tipo de falla de una capa de shotcrete.

Fuente: (Deere et al, 1970)

(1) Falla por corte; (2) Falla por tensión diagonal; (3) Falla por adherencia del shotcrete a la roca y (4) Falla por flexión.

### 2.2.13. Estado tensional

Las tensiones actuantes sobre una excavación subterránea son de dos tipos: naturales e inducidas. Las primeras corresponden al estado de esfuerzos naturales como consecuencia de los procesos tectónicos, gravitacionales, etc., y el segundo tipo responde a la redistribución de tensiones como consecuencia de la excavación. Para diseñar una excavación subterránea se necesita conocer la magnitud y la dirección de las tensiones naturales, tanto para el cálculo de los sostenimientos como para analizar la sección y el proceso constructivo.

Si las tensiones alcanzan valores muy altos, este factor constituye un riesgo que puede ocasionar fenómenos de explosión de roca o deformaciones importantes de costosa solución. (Gonzales de Vallejo, 2002)

## 2.3. Definiciones conceptuales

### 2.3.1. Macizo rocoso



Es el medio in-situ que contiene diferentes tipos de discontinuidades como diaclasas, estratos, fallas y otros rasgos estructurales. (SNMPE, 2004).

### **2.3.2. Matriz rocosa**

Es el material rocoso exento de discontinuidades, o los bloques de roca intacta que quedan entre ellas. La matriz rocosa, a pesar de considerarse continua, presenta comportamiento heterogéneo y anisótropo ligado a su fábrica y a su microestructura mineral. (Gonzales de Vallejo, 2002).

### **2.3.3. Discontinuidad**

Es cualquier plano de origen mecánico o sedimentario que independiza o separa los bloques de matriz rocosa en un macizo rocoso. (Gonzales de Vallejo, 2002).

Una discontinuidad es una superficie del macizo rocoso que está abierta o puede abrirse fácilmente a causa de tenciones inducidas por la excavación.

Las superficies de discontinuidad aparecen durante la formación de la roca (planos de estratificación, laminación, foliación, disyunción, etc.) o posteriormente por causas tectónicas (esquistosidad, pizarrosidad y las fracturas: fallas y las diaclasas), estas últimas denominadas vulgarmente “juntas”. (Jorda, 2013).

### **2.3.4 Dilatancia**

Es el aumento de volúmenes en las discontinuidades del macizo rocoso, en que interviene la Dilatancia por ejemplo caída de cuñas. (Fuente EPG Puno Fredy Elorrieta 2017)

### **2.3.5. Orientación**

Es la posición de la discontinuidad en el espacio y comúnmente es descrito por la dirección de buzamiento y el buzamiento de la línea de máxima pendiente en el plano de la discontinuidad. (ITGE, 1987).



### **2.3.6. Espaciado**

Es la distancia perpendicular entre discontinuidades adyacentes. Éste determina el tamaño de los bloques de roca intacta que se pueden presentar dentro del macizo rocoso.

Cuanto menos espaciado tengan, los bloques serán más pequeños y cuanto más espaciado tengan, los bloques serán más grandes. (SNMPE, 2004).

### **2.3.7. Persistencia**

Este concepto hace referencia a la extensión o tamaño de las discontinuidades. Las dimensiones de una discontinuidad se pueden cuantificar observando su longitud en los afloramientos en la dirección del rumbo y en la dirección del buzamiento. (Ramirez & Alejano, 2007).

### **2.3.8. Rugosidad**

Conjunto de irregularidades de diferentes órdenes de magnitud (asperezas, ondulaciones), que componen la superficie de las paredes de la discontinuidad. (ITGE, 1987).

### **2.3.9. Apertura**

Se define apertura como la distancia perpendicular que separa las paredes adyacentes de roca de una discontinuidad, cuando este espacio intermedio tiene agua o aire. En esto se distingue la apertura del espesor de relleno. (Ramirez & Alejano, 2007).

### **2.3.10. Relleno**

Son los materiales que se encuentran dentro de la discontinuidad. Cuando los materiales son suaves, la masa rocosa es menos competente y cuando éstos son más duros, ésta es más competente. (SNMPE, 2004).



### **2.3.11. Aguas subterráneas**

La presencia de agua subterránea es de suma importancia en la estabilidad de túneles, ya que implica menor resistencia en el macizo rocoso, por ende en la clasificación de macizo rocoso en las cuales puede estar seco, ligeramente húmedo, húmedo, goteando y fluyendo.

Generalmente, la circulación de agua en los macizos rocosos se realiza a lo largo de las discontinuidades (permeabilidad secundaria), excepto en las rocas sedimentarias con un alto índice de poros, en las cuales el agua circula por la propia roca (permeabilidad primaria). (Ramirez & Alejano, 2007).

### **2.3.12. Meteorización**

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

### **2.3.13. Alteración**

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



#### **2.3.14. Factor de seguridad**

El Factor de Seguridad es una medida determinista de la relación entre las fuerzas de resistencia (capacidad) y las fuerzas impulsoras (demanda) del sistema en su entorno considerado. El FS es el criterio más básico de diseño aceptado en la ingeniería. En geomecánica saltó a la fama a mediados del siglo XX, cuando la ingeniería geotécnica se desarrolló como una disciplina de ingeniería independiente. En 1940. (Read & Stacey, 2009).

#### **2.3.15. Probabilidad de falla**

La probabilidad de falla (POF) es cada vez más utilizado como criterio de aceptación durante los últimos 35 años, aunque con diversos grados de entusiasmo y escepticismo. Terzaghi, Whitman (1983) eran de la opinión de que la teoría de probabilidades fue considerada por la duda o incluso la sospecha por la mayoría de los ingenieros geotécnicos. Las actitudes han cambiado y el uso de la PF como criterio de diseño se ha fortalecido. (Read & Stacey, 2009).

#### **2.3.16. Diseño de sostenimiento**

Dado que, como se ha indicado más arriba, el anillo de roca que rodea al túnel es el principal elemento que proporciona estabilidad a la excavación, el sostenimiento tendrá como primera misión evitar que el terreno pierda propiedades por efecto del proceso constructivo, o incluso que las mejore. Solamente en segundo lugar se sitúa la capacidad resistente por sí misma del sostenimiento, que es muy pequeña comparada con las grandes tensiones que pueden existir en el interior de los macizos rocosos, debido al enorme peso de las coberteras de roca habituales. (MTC, 2014)



### **2.3.17 Clasificaciones geomecánicas**

Son sistemas de clasificación que proporciona una evaluación y estimación de la calidad del macizo rocoso a partir de observaciones en el campo y ensayos sencillos, como son R.M.R. (Bieniawski), Q (Barton) y G.S.I. (Hoek & Brown). (Norly, B. et al. 2012)

### **2.3.18 Dominios geotécnicos**

Los dominios geotécnicos están relacionados a los mecanismos de falla y/o ruptura en una caracterización geomecánica a observarse y analizarse, los cuales pueden inducir a 4 tipos de ruptura que son planar, cuña circular y volcamiento. (Fredy elorrieta EPG – Puno 2017)

### **2.3.19 Labores de desarrollo**

Son excavaciones horizontales o inclinadas en roca estéril con la finalidad de explorar, explotar un determinado yacimiento mineralizado, para tener un valor agregado económicamente activo. Toda actividad minera requiere de un plan de minado, de esa forma diseñar el método de explotación en dichas excavaciones. (Mamani M. Aporte personal)



## **2.4 Formulación de hipótesis**

### **2.4.1 Hipótesis general**

Mediante la caracterización geomecánica del macizo rocoso nos permitirá identificar zonas y dominios geotécnicos del macizo rocoso que nos dará un diseño de sostenimiento de las cuñas subterráneas de roca de la excavación subterránea.

### **2.4.2 Hipótesis específicas**

a) Los parámetros geomecánicos a considerar dentro de la caracterización serán las propiedades de las discontinuidades y las propiedades del macizo rocoso el cual dará a conocer las zonas de dominios geotécnicos de la excavación que pasa por dos concesiones Ana María I y IV.

b) El diseño de sostenimiento para las labores de desarrollo dependerá del dominio geotécnico influye en la inestabilidad del macizo rocoso.



## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y METODOS

#### 3.1 Tipo y diseño de investigación

El presente proyecto de investigación identificado como “Caracterización geomecánica del macizo rocoso para el diseño de sostenimiento de la UEA Ana María I y IV de la Contrata Minera Maurinho” será siendo aplicada a una investigación del tipo descriptivo, que se describe las características a tomar en cuenta en su aplicación.

#### 3.2 población y muestra

##### 3.2.1 población

El ámbito de estudio se considera a la Unidad Económica Administrativa, Ana María I y IV de la contrata Minera Maurinho.

##### 3.2.2 Muestra

Como muestra se tomara datos en los hastiales con martillo Smith, formatos de caracterizacion del macizo rocoso, brújula, etc. en la respectiva excavación de desarrollo “proyecto María” con una longitud desarrollado de 750 metros lineales aproximadamente con una sección de 2.20 x 3 metros, los datos se tomara con un tramo de 10 metros en los hastiales izquierdo y derecho que por estación hacen un total de 20 metros en zonas de dominio geotecnico perteneciente a la Contrata Minera Maurinho de la Unidad Económica Administrativa, Ana María I y IV – La Rinconada.



### 3.3 Operacionalización de variables

#### 3.3.1 Variables

**Variable independiente:** Caracterización geomecánica del macizo rocoso involucra Datos estructurales, propiedades de las discontinuidades, Se tomara datos estructurales con la brújula brunton como buzamiento y dirección de buzamiento, se tomara las características de las propiedades de las discontinuidades mediante formatos en ubicación de análisis y resultados, el martillo Smith cumplirá la función mediante la Tabla de índice de resistencia de la roca (ISRM 1978)

**Variable dependiente:** El diseño de sostenimiento dependerá de los programas de rocscience como el pgase2, unwedge, y el dips 06 para simular que tipo de diseño del sostenimiento debe emplearse en los desarrollos futuros.

### 3.3.2 Operación de Variables

Cuadro 04 *Operación de variables*

		<b>Variable(s)</b>	<b>Dimensión(es)</b>	<b>Indicador(es)</b>
<b>Variables independientes</b>	<b>Datos Estructurales</b>	Dirección de Buzamiento	Angulo	Grados(°)
		Buzamiento	Angulo	Grados(°)
	<b>Propiedades de Las discontinuidades</b>	Condición de juntas, abertura, rugosidad, relleno, alteración, presencia de agua	Adimensional numérico	Alfanumérico
	<b>Datos de Maritllo smith</b>	Peso específico	peso	Newton/metro3
		Compresión simple	Propiedades físicas	Angulo residual
<b>Variables Dependientes</b>	<b>Diseño de Sostenimiento De la excavación con programas de rocscience como dips 06, unwedge, Phase2</b>	Factor de seguridad	unwedge	Numérico
		Campo des esfuerzos	Phase2	Mega pascales (MPa)
		Dominio geotecnico	Dips 06	Numerico

Fuente: Elaboración propia

### 3.4 Técnicas e instrumentación de recolección de datos

Los instrumentos para la recolección de datos, que se realizara en la caracterización geomecánica del macizo rocoso y correlación, son los siguientes.



- 01 Brújula marca Brunton.
- 01 Distanciómetro marca Leyca.
- 01 Flexo metro marca tools.
- 01 Martillo Smith.
- 01 Wincha de 50 metros.
- Equipos de utilería para registrar los datos de campo y llevarlos a los softwares

Phase2 y Unwedge.

- Formatos de registro.
- Planos topográficos
- Abacos y tablas.
- Libreta de campo.
- Los formatos de registro se consideran dentro de los Anexos 2, 3
- Preparación de muestra para los ensayos y equipos de compresión simple de la roca.
- Sonda saca testigos. Fuente de laboratorio FIM - UNA – PUNO.
- Propiedades físicas de la roca. Fuente de laboratorio FIM – UNA PUNO.
- Equipo de compresión simple.
- Equipo laptop.

### **3.5 Ámbito de estudio**

La Unidad Económica Administrativa Ana María I y IV se encuentra ubicado entre las prolongaciones occidentales de los nevados de Ananea, pertenecientes a la cadena Aricoma o cordillera de Carabaya, en el paraje denominado Rinconada – Cerro lunar de Oro.



Lugar de ubicación : Centro Poblado - Rinconada

Distrito : Ananea

Provincia : San Antonio de Putina

Departamento : Puno

Geográficamente queda delimitado por las coordenadas UTM:

N : 8383230269

E : 451924491

14° 30' – 15° 00' Latitud Sur

69° 00' – 70° 00' Longitud Oeste

4974 m.s.n.m. De Altura

### 3.6 Accesibilidad.

Es accesible por las siguientes rutas de Observar el Cuadro 5:

Cuadro 05 *Accesibilidad*

<b>RUTA</b>	<b>Tiempo (h)</b>	<b>Carretera</b>	<b>Distancia (Km.)</b>
Puno-Juliaca	1.00	Asfaltada	45
Juliaca - Putina	1.20	Asfaltada	89
Putina - Ananea	1.20	Asfaltada	62
Ananea - La Rinconada	1.00	Trocha	20
La Rinconada – Bocamina sarita Planeamiento Rytty Pata Inferior	0.15	No afirmada	2.5
<b>Total de horas</b>	<b>4.55 h</b>		<b>216 Km.</b>

(Estimaciones Aproximadas)



## CAPITULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSION

#### 4.1 Propiedades físico – mecánico del macizo rocoso

##### 4.1.1 Porosidad

**La pizarra:** es una roca metamórfica homogénea de grano fino formada por la compactación por metamorfismo de bajo grado de lutitas. Se presenta generalmente de color opaco azulado oscuro y estructurada en lajas u hojas planas por una esquistosidad bien desarrollada (pizarrosidad), siendo, por esta característica, utilizada en cubiertas y como antiguo elemento de escritura. La pizarra es una roca densa, de grano fino, formada a partir de rocas sedimentarias arcillosas y, en algunas ocasiones, de rocas ígneas. La principal característica de la pizarra es su división en finas láminas o capas (fisibilidad). Los minerales que la forman son principalmente sericita, moscovita, clorita y cuarzo. Suele ser de color negro azulado o negro grisáceo, pero existen variedades rojas, verdes y otros tonos. Debido a su impermeabilidad, la pizarra se utiliza en la construcción de tejados, como piedra de pavimentación, mesas de billar, e incluso para fabricación de elementos decorativos. ver Cuadro 6.

**La cuarcita** es una roca metamórfica dura con alto contenido de cuarzo. En composición la mayoría de las cuarcitas llegan a ser más de 90 % de cuarzo y algunas incluso 99 %. El término cuarcita a menudo es usado erróneamente para designar a la cuarzoarenita u ortocuarcita, roca sedimentaria cementada con sílice que ha precipitado de aguas intersticiales durante su diagenesis. La cuarcita se forma por recristalización a altas temperaturas y presión. La cuarcita carece de foliación. Si presenta capas de hojuelas paralelas de mica blanca la roca obtiene una estructura esquistosa y pasa a llamarse esquisto de cuarzo.

Cuadro 06. *Relación densidad porosidad*

<b>Tipo de roca</b>	<b>Densidad (Kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Porosidad (%)</b>
	$\text{DENSIDAD} = \frac{\text{PESO NATURAL } \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right)}{\text{VOLUMEN}}$	$n(\%) = \frac{\text{VOLUMEN DE VACIOS}}{\text{VOLUMEN DE LA MASA}} \times 100$
Pizarra	2.7 – 2.8	0.1 – 0.5
Cuarcita	2.4 – 2.6 – 2.7	0.1 – 0.5
Pizarra (unidad Económica Administrativa Ana María I y IV)	En un metro cubico un aproximado de 2.64 – 2.7 Fuente de corporación minera Ananea S.A.	Rango 0.1 – 0.5

Fuente Ferrer.M. Gonzales Vallejo, L Eds (1999) Manual de Campo para la descripción y Caracterización de macizos rocosos en afloramientos IGME.

#### 4.1.2 Contenido de agua

*Pizarra y cuarcita* el contenido de agua que presentan las rocas en mención está muy ligado a la porosidad que presentan, debido a su alta impermeabilidad las rocas metamórficas indicadas se asemejan debido a su composición mineralógica y al tipo de grano que presentan en su estructura, las condiciones de exposición que presentaban era de estos rangos ligeramente húmedo, húmedo, goteando condiciones que presentaban en la excavación. Pruebas realizadas indican el contenido de agua mostrada en los siguientes cuadros (Blanco 2005).



Cuadro 07

*Contenido de agua roca pizarra*

	<b>M-001</b>	<b>M-002</b>	<b>M-003</b>
<b>Peso tara (g)</b>	44.50	45.20	45.30
<b>Peso muestra húmeda + tara (g)</b>	452.70	325.60	640.20
<b>Peso muestra seca + tara (g)</b>	432.60	310.40	612.70
<b>Peso agua (g)</b>	20.10	15.20	27.50
<b>Peso muestra húmeda (g)</b>	408.20	280.40	594.90
<b>Peso muestra seca (g)</b>	388.10	265.20	567.40
<b>w (%)</b>	5.18	5.73	4.85
<b>Promedio</b>	5.25		

Fuente del laboratorio de geotecnia y geomecánica 0128-2013-lms&r-fim-una-puno.

Fecha: 25/11/2013

Cuadro 08

*Contenido de agua roca cuarcita*

	<b>M-001</b>	<b>M-002</b>	<b>M-003</b>
<b>Peso tara (g)</b>	45	47.10	47.50
<b>Peso muestra húmeda + tara (g)</b>	73	84.16	110.80
<b>Peso muestra seca + tara (g)</b>	72.96	84.13	110.79
<b>Peso agua (g)</b>	0.04	0.03	0.01
<b>Peso muestra húmeda (g)</b>	28	37.06	63.30
<b>Peso muestra seca (g)</b>	27.96	37.03	63.29
<b>w (%)</b>	0.14	0.08	0.02
<b>Promedio</b>	0.08		

Fuente del laboratorio de geotecnia y geomecánica-FIM-UNA-PUNO año 2015

### 4.1.3 Densidad

La roca pizarra y la roca cuarcita presentan una densidad similar promedio, como se muestra en el cuadro 8 pruebas realizadas en laboratorio y campo (in situ) dan un resultado con contenido de agua y se muestran en el siguiente cuadro.

Cuadro 09

*Densidad de la roca pizarra*

	MA-I	MA-II	MA-III	MA-IV
<b>Diámetro del testigo (cm)</b>	3.81	3.81	3.81	3.81
<b>Altura del testigo (cm)</b>	7.61	7.63	7.62	7.61
<b>Peso húmedo del testigo (g)</b>	238.90	239.80	239.90	238.80
<b>Densidad húmeda, testigo (g/cm<sup>3</sup>)</b>	2.75	2.76	2.76	2.75
<b>Contenido de humedad <math>w</math>(%)</b>	0.053			
<b>Peso unitario húmedo (kN/m<sup>3</sup>)</b>	27.03			
<b>Peso unitario seco (kN/m<sup>3</sup>)</b>	25.61			

Fuente del laboratorio de geotecnia y geomecánica 0128-2013-lms&r-fim-una-puno.  
Fecha: 25/11/2013

Cuadro 10

*Densidad de la roca cuarcita*

	Peso (g)	Volumen (cm <sup>3</sup> )	In situ $w$ (%)	Densidad
<b>Muestra 001</b>	442.87	139.80	0.15	2.75
<b>Muestra 002</b>	439.90	138.86	0.15	2.75
<b>Muestra 003</b>	443.13	139.88	0.15	2.75

Fuente del laboratorio de geotecnia y geomecánica-FIM-UNA-PUNO año 2015

#### 4.1.4 Deformación

La deformación de la roca pizarra y cuarcita se da a entender que es un porcentaje cuanto ha cambiado respecto al inicial, la deformación nos permite definir la rigidez. Que es la rigidez, es el factor que relaciona el desplazamiento con la fuerza aplicada. La rigidez permite la deformación de las discontinuidades antes de que falle mirar curva tensión vs deformación. (Fuente de la UNA – PUNO EPG MGGM Fredy Elorrieta 2017).

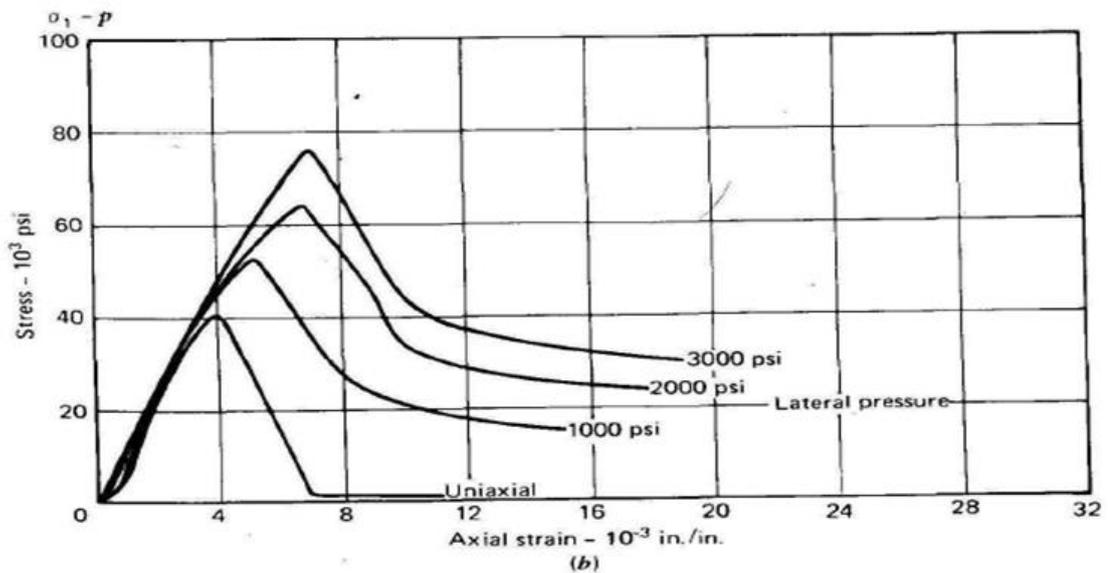


Figura 7. Fuente Introduction to Rock Mechanics Goodman pag 75

$$\epsilon = \frac{L_f - L_i}{L_f}$$

$\epsilon$  = deformación

$L_f$  = longitud final

$L_i$  = longitud inicial

$L_f - L_i = \Delta$  (delta con respecto a la inicial).

#### 4.1.5 Criterio de resistencia

Intenta predecir cuál va a ser el comportamiento de ese medio que estas estudiando ya sea roca o discontinuidad para establecer los parámetros, los cuales la discontinuidad se va a cortar con respecto a la mecánica de rocas en distintos espectros de tensiones.

Ósea por ejemplo una discontinuidad A en un espectro de tensiones por ejemplo de 0 a 5 hablando de forma generalizada podría ser representada en una forma eficiente con criterio de resistencia, pero esa misma discontinuidad A en un espectro de tensiones por ejemplo de 10 a 50 MPa podría ser mejor representada por estereograma.

Nosotros estamos tratando de predecir el comportamiento e resistencia (Como yo voy a definir) Esa discontinuidad la extracción del cuerpo de prueba llevado al laboratorio.

(Fuente de la UNA – PUNO EPG MGGM Fredy Elorrieta 2017).

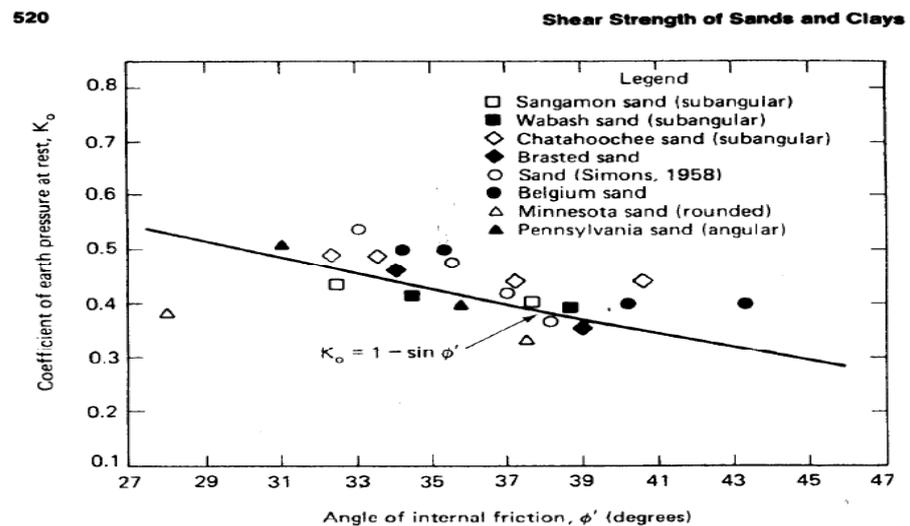


Fig. 11.14 Relationship between  $K_o$  and  $\phi'$  for normally consolidated sands (after Al-Hussaini and Townsend, 1975).

Figura 8. Introduction to Geotechnical Engineering Holst Covasc 1975 pag 520

Cuadro 11

*Ensayo de resistencia a la compresión simple de la roca pizarra*

ID	Diámetro	Altura	Área	Relación	Carga	Factor de corrección		UCS	UCS corregido	UCS corregido	Tipo de Rotura	Observaciones
	(cm)	(cm)	(cm <sup>2</sup> )	L/D	(Kg-f)	Relación D/L (PROTODYAKON OV)	Por diámetro (Hoek & Brown, 1980)	(MPa)	(MPa)	(Kg-f/cm <sup>2</sup> )		
M-1	5.490	10.076	23.672	1.835	19350.0	0.989	1.019	80.16	80.77	823.61	matriz	--
M-2	5.492	10.244	23.689	1.865	18370.0	0.991	1.019	76.05	76.79	783.08	matriz	--
M-3	5.483	9.974	23.612	1.819	17980.0	0.988	1.019	74.68	75.13	766.14	matriz	--
Número de resultados								3	3	3		
Valor máximo, MAX								80.16	80.77	823.61		
Valor mínimo, MIN								74.68	75.13	766.14		
Mediana, MED								76.05	76.79	783.08		
Valor promedio, MEAN								76.96	77.57	790.94		
Desviación estándar, SDEV								2.85	2.90	29.53		
Coeficiente de variación, CV								1.29	1.11	1.11		

Fuente: informe no : 059-2019-Ig&mr-FIM-UNA-PUNO.

Referencia : ASTM D 3148, d 2938.

Fecha de emisión: 17 de octubre del 2019

Solicitado por: Bach. René Mauro Mamani Larico

Proyecto: Tesis: Caracterización geomecánica del macizo rocoso para el diseño de sostenimiento de la U.E.A. Ana María I y IV de la Contrata Minera Maurinho.

Cuadro 12

*Ensayo de resistencia a la compresión simple de la roca cuarcita*

ID	Diametro (cm)	Altura (cm)	Area (cm <sup>2</sup> )	Relacion L/D	Carga (Kg-f)	UCS (MPa)	Tipo Ruptura
SF – 2 - 1	4.46	8.95	15.62	2.0	43050	270.23	Matriz
SF – 2 - 2	4.45	8.93	15.55	2.0	16710	105.36	Fractura
SF – 2 - 3	4.47	8.91	15.69	2.0	40490	253.03	Matriz

Fuente del laboratorio de geotecnia y geomecánica-FIM-UNA-PUNO año 2015



## **4.2 Caracterización del macizo rocoso**

Dentro la caracterización del macizo rocoso algunos de estos parámetros, como la rugosidad, el espaciado, continuidad, meteorización de juntas, apertura y presencia de agua y relleno, determinan el comportamiento mecánico y la resistencia al corte de las discontinuidades, todos estos parámetros son tomados en campo por estaciones mostrados en los siguientes cuadros (Gonzales de Vallejo donde considera todos los parámetros de RMR<sup>89</sup> de Bienianski UNA – PUNO EPG MGGM 2017).

### **4.2.1 Caracterización geomecánica por estaciones**

La caracterización del macizo rocoso en la excavación subterráneas de las seis estaciones geomecánicas con tramos de 10 metros aproximados tanto como el hastial izquierdo y derecho hacen un total de 122 metros, que son los parámetros geomecánicos a considerar dentro de la caracterización geomecánica en la U.E.A. Ana María I y IV de la contrata Minera Maurinho, toma de datos considerado dentro de los Anexos 02, 03, 04, 05, 06, 07.

### **4.3 Análisis estadístico de datos en Excel de las discontinuidades efectuados por la caracterización geomecánica de las seis estaciones**

Se realiza un análisis estadístico de toma de datos de las discontinuidades mediante parámetros como: Cantidad de datos, Media aritmética, Desviación típica poblacional, Desviación típica muestral, Suma de la cantidad de datos, Suma de los cuadrados, Valor mínimo de los datos, Cuartil uno, Mediana o cuartil dos, Cuartil tres, y Valor máximo de los datos en los cuadros de Excel siguiente.

Cuadro 13 *Análisis estadístico de discontinuidades de seis estaciones*

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE DISCONTINUIDADES DE LAS SEIS ESTACIONES GEOMECAICAS HASTIAL IZQUIERDO Y DERECHO		
n	122	Cantidad de datos
Media	3,68852459	Media aritmética
$\sigma$	1.361544249	Desviación típica poblacional
S	1.367158888	Desviación típica muestral
$\Sigma x$	450	Sumatoria “n” datos
$\Sigma x^2$	1886	Sumatoria de los cuadrados
Min	0	Valor mínimo de los datos
Q1	3	Cuartil 1
Mediana	4	Mediana o cuartil 2
Q3	4	Cuartil 3
Max	11	Valor máximo de los datos

Elaboración propia del tesista.

#### 4.4 Clasificación geomecánica

Bieniawski (1976) publicó los detalles de una clasificación de la masa rocosa denominada sistema de Clasificación Geomecánica o Valoración de la masa Rocosa RMR (Rock Mass Rating). A través de los años este sistema ha sido refinado sucesivamente conforme se han ido examinando más casos registrados, y se advierte al lector que Bieniawski hizo cambios significativos en las valoraciones asignadas a los diferentes parámetros. La discusión que sigue está basada en la versión de 1989 de la clasificación (Bieniawski, 1989). Los siguientes seis parámetros son usados para clasificar una masa rocosa con el sistema RMR:

1. Resistencia compresiva uniaxial del material rocoso.
2. Designación de la calidad de roca (RQD).
3. Espaciamiento de las discontinuidades.



4. Condición de las discontinuidades.
5. Condiciones de agua subterránea
6. Orientación de las discontinuidades.

#### 4.4.1 Índice de designación de la calidad de rocas (RQD)

El índice de designación de la calidad de la roca (RQD) fue desarrollado por (Deere 1967) Para proveer un estimado cuantitativo de la calidad de la masa rocosa a partir de los testigos de la perforación diamantina. El RQD está definido como el porcentaje de piezas de testigos intactos mayores de 100mm (4 pulgadas) en la longitud total del testigo. El testigo deberá tener por lo menos un tamaño NX (54.7 mm o 2.15 pulgadas de diámetro) y deberá ser perforado con un cilindro de doble tubo de perforación el procedimiento correcto para medir las longitudes de testigo y el cálculo del RQD son resumidos con dos tipos de parámetros.

1)  $RQD = 115 - 3.3J_v$

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

Donde  $\lambda$  es el número de juntas por metro lineal, por este método se determinó el RQD.

#### 4.4.2 Clasificación geomecánica del macizo rocoso (RMR) 1989 por estación

Parámetros		Rango de valores								
1	Resistencia de la matriz rocosa (MPa)	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	525 MPa	1-5 MPa	< 1 MPa	
	puntuación	15	12	7	4	2	1	0		
2	RQD	90-	75-90%	50-75%	25-50%	25%				
	puntuación	10020%	17	13	8	3				
3	Espaciado de las discontinuidades	> 2 m	0.6-2 m	0.2-0.6 m	6-20 cm	< 6 cm				
	puntuación	20	15	10	8	5				
4	Estado de las discontinuidades	Longitud de la discontinuidad	< 1 m	1-3 m	3-10 m	10-20 m	> 20 m			
		puntuación	6	4	2	1	0			
		Abertura	Nada	< 0.1 mm	0.1-1.0	1-5 mm	> 5 mm			
		puntuación	6	5	mm3	1	0			
		Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Ondulada	Suave			
		puntuación	6	5	3	1	0			
		Relleno	Ninguno	Relleno duro < 5 mm	Relleno duro > 5 mm	Relleno blando < 5 mm	Relleno blando > 5 mm	5		
		puntuación	6	4	2	2	0			
		Alteración	Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadamente alterada	Muy alterada	Descompuesta			
puntuación	6	5	3	1	0					
5	Agua freática	Relación Pagua / Pprinc	0	0-0.1	0.1-0.2	0.2-0.5	> 0.5			
		Condiciones generales	Completamente secas	Ligeramente húmedas	Húmedas	Goteando	Agua fluyendo			
	puntuación	15	10	7	4	0				

Fuente: Bieniawski, Z.T. 1976. Rock mass classification in rock engineering. In Exploration for rock engineering, proc. of the symp., (ed. Z.T. Bieniawski) 1, 97-106. Cape Town: Balkema.

Cuadro 14. *Tabla de índice manual de resistencia de la roca (ISRM 1978)*

GRADOS	DESCRIPCION	IDENTIFICACION DE CAMPO	VALOR APROXIMADO DE LA RESISTENCIA A COMPRESION SIMPLE	
			MPa	Kg/cm <sup>2</sup>
R1	ROCA MUY DEBIL	Deleznable bajo golpes del martillo de geólogo, puede rayarse con una navaja	1.0 – 5.0	10 - 50
R2	ROCA DEBIL	Puede rayarse con dificultad con la navaja, se pueden hacer marcas poco profundas golpeando fuertemente con la punta del martillo	5.0 - 25	50 - 250
R3	ROCA MEDIA DEBIL	No se puede rayar con una navaja la muestra en mano, se puede romper con un golpe firme del martillo de geólogo, al impacto la punta del martillo identa hasta 5mm	25 - 50	250 - 500
R4	ROCA DURA	Se necesita más de un golpe con el martillo de geólogo para romper la muestra, sostenidos en la mano se rompe con un simple golpe de martillo	50 - 100	500 - 1000
R5	ROCA MUY DURA	Se necesita muchos golpes con el martillo de geólogo para romper la muestra	100 - 250	1000 - 2500
R6	ROCA EXTREMADAMENTE DURA	El martillo produce solamente descarrilado de la muestra, sonido metálico de golpe	>250	>2500



#### **4.2.3 Clasificación geomecánica RMR<sub>89</sub> por estaciones**

La clasificación geomecánica de RMR<sub>89</sub> del macizo rocoso en la excavación subterráneas de las seis estaciones geomecánicas con tramos de 10 metros aproximados tanto como el hastial izquierdo y derecho hacen un total de 122 metros, que son los parámetros geomecánicos a considerar, resistencia, RQD, espaciamiento, condición de juntas, agua freática, todo esto dentro de la caracterización geomecánica en la U.E.A. Ana María I y IV de la contrata Minera Maurinho, toma de datos registrado en anexos 08, 09, 10, 11, 12, 13.

#### **4.3 Análisis estadístico de datos en Excel RMR<sub>89</sub> tramo efectuados por la caracterización geomecánica de las seis estaciones**

Se realiza un análisis estadístico de toma de datos del RMR<sub>89</sub> tramo mediante parámetros como: Cantidad de datos, Media aritmética, Desviación típica poblacional, Desviación típica muestral, Suma de la cantidad de datos, Suma de los cuadrados, Valor mínimo de los datos, Cuartil uno, Mediana o cuartil dos, Cuartil tres, y Valor máximo de los datos en los cuadros de Excel siguiente.

Cuadro 15 *Análisis estadístico de RMR<sub>89</sub> tramo de las seis estaciones*

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE RMR <sub>89</sub> TRAMO DE LAS SEIS ESTACIONES GEOMECHANICAS HASTIAL IZQUIERDO Y DERECHO		
n	12	Cantidad de datos
Media	59.9166667	Media aritmética
σ	3.54632047	Desviación típica poblacional
S	3.70401093	Desviación típica muestral
Σx	719	Sumatoria “n” datos
Σx <sup>2</sup>	43231	Sumatoria de los cuadrados
Min	53	Valor mínimo de los datos
Q1	57	Cuartil 1
Mediana	59.5	Mediana o cuartil 2
Q3	63.25	Cuartil 3
Max	64	Valor máximo de los datos

Elaboración propia del tesista.

#### 4.4.1 Índice de Calidad Tunelera de la roca (Q)

Sobre la base de una excavación de un gran número de casos históricos de excavaciones subterráneas, Barton et. (1974) del Instituto Geotécnico de Noruega, propusieron un Índice de calidad tunelera (Q) para la determinación de las características de la masa rocosa y de los requerimientos de sostenimiento de los túneles, el valor numérico de este índice Q varía sobre una escala logarítmica desde 0.0001 hasta un máximo de 1000, y está definido por.

$$Q = \frac{RQD}{jn} \times \frac{J_r}{j_a} \times \frac{J_w}{SFR}$$

Cabe recalcar que el índice Q, no incluye la orientación de las discontinuidades.



**Jn** (Número de familias): varia entre 0.5 y 20 depende del número de familia de juntas que hay en el macizo.

**Jr** (Coeficiente de rugosidad de la roca): varia entre 1 y 4 depende de la rugosidad de las juntas.

**Ja** (Coeficiente de alteración de las juntas): varía entre 0.75 y 20 y depende del grado de alteración de las parees de las juntas de la roca.

**Jw** (Coeficiente reductor para la presencia de agua): varia entre 0.05 y 1, dependiendo de la presencia de agua en el túnel.

**SFR**. Son las siglas de Stress Reduction Factor ( Factor reductor por Tensiones en el Macizo Rocoso), depende del estado tensional de la roca que atraviesa el túnel.



Cuadro 16 Estación geomecánica 01 hastial izquierdo

ESTACION GEOMECANICA 01 HASTIAL IZQUIERDO										
TRAMO	0 - 1	1- 2	2- 3	3 - 4	4 - 5	5 - 6	6 - 7	7 - 8	8 - 9	9 -10
<b>FAMILIA</b>	1	1	2	1	2	1	2	1	1	2
<b>RQD</b>	68	68	57	89	57	79	57	68	68	57
<b>Jn</b>	3	3	4	1	4	2	4	3	3	4
<b>Jr</b>	1.5	1.5	1.5	3	3	3	1.5	1.5	1.5	3
<b>Ja</b>	2	2	2	0.75	0.75	0.75	2	2	2	1
<b>Jw</b>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<b>SRF</b>	1	1	2.5	1	2.5	1	2.5	1	1	2.5
<b>Q</b>	16.5	16.5	4.3	356	22.8	158	4.3	17	17	17.1
<b>Σ Q estación</b>	62.95 = 63									
<b>calidad</b>						<b>Valoración</b>		<b>Σ Q estación 01 hastial izquierdo</b>		
Excepcionalmente malo						< 0.01		<b>63</b>  <b>Muy bueno 40 - 100</b>		
Extremadamente malo						0.01 – 0.1				
Muy malo						0.1 - 1				
Malo						1 - 4				
Medio						4 - 10				
Bueno						10 - 40				
Muy bueno						40 - 100				
Extremadamente bueno						100 - 400				
Excepcionalmente bueno						>400				

Fuente: Elaboración propia del tesista.



Cuadro 17 Estación geomecánica 01 hastial derecho

ESTACION GEOMECANICA 01 HASTIAL DERECHO										
TRAMO	0 - 1	1 - 2	2 - 3	3 - 4	4 - 5	5 - 6	6 - 7	7 - 8	8 - 9	9 - 10
FAMILIA	2	1	1	2	2	2	3	1	2	2
RQD	57	68	78	57	57	57	47	68	57	57
Jn	4	3	2	4	4	4	5	3	4	4
Jr	2	2	2	3	2	2	1.5	3	3	2
Ja	1	2	2	2	2	2	2	2	3	3
Jw	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
SRF	2	1	1	2.5	2.5	1	2	2	2.5	2.5
Q	14.25	23	39	8.55	5.7	14.25	3.5	17	5.7	3.8
$\Sigma Q$ estación	13.475 = 13.48									
<b>calidad</b>						<b>Valoración</b>	<b><math>\Sigma Q</math> estación 01 hastial derecho</b>			
Excepcionalmente malo						< 0.01	<b>13.48</b>  <b>Bueno 10 - 40</b>			
Extremadamente malo						0.01 - 0.1				
Muy malo						0.1 - 1				
Malo						1 - 4				
Medio						4 - 10				
Bueno						10 - 40				
Muy bueno						40 - 100				
Extremadamente bueno						100 - 400				
Excepcionalmente bueno						>400				

Fuente: Elaboración propia del tesista.

Cuadro 18 Estación *geomecánica 02 hastial izquierdo*

ESTACION GEOMECANICA 02 HASTIAL IZQUIERDO										
TRAMO	0 - 1	1 - 2	2 - 3	3 - 4	4 - 5	5 - 6	6 - 7	7 - 8	8 - 9	9 - 10
<b>FAMILIA</b>	1	1	3	2	2	2	3	2	1	1
<b>RQD</b>	67	78	47	57	57	57	47	57	67	67
<b>Jn</b>	3	2	5	4	4	4	5	4	3	3
<b>Jr</b>	1.5	1.5	3	1.5	1.5	3	1.5	3	1.5	1.5
<b>Ja</b>	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
<b>Jw</b>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<b>SRF</b>	1	1	1	1	1	2	2	2	2.5	2
<b>Q</b>	16.5	29.25	14.1	10.69	10.69	5.34	3.5	5.34	6.7	8.38
<b>Σ Q estación</b>	11.049 = 11.04									
<b>calidad</b>						<b>Valoración</b>	<b>Σ Q estación 02 hastial izquierdo</b>			
Excepcionalmente malo						< 0.01	<b>11.04</b>  <b>Bueno 10 - 40</b>			
Extremadamente malo						0.01 – 0.1				
Muy malo						0.1 - 1				
Malo						1 - 4				
Medio						4 - 10				
Bueno						10 - 40				
Muy bueno						40 - 100				
Extremadamente bueno						100 - 400				
Excepcionalmente bueno						>400				

Fuente: Elaboración propia del tesista.



Cuadro 19 Estación geomecánica 02 hastial derecho

ESTACION GEOMECANICA 02 HASTIAL DERECHO										
TRAMO	0 - 1	1 - 2	2 - 3	3 - 4	4 - 5	5 - 6	6 - 7	7 - 8	8 - 9	9 - 10
<b>FAMILIA</b>	1	2	2	1	2	2	1	1	1	1
<b>RQD</b>	68	57	57	68	57	57	79	68	68	79
<b>Jn</b>	3	4	4	3	4	4	2	3	3	2
<b>Jr</b>	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1	1.5	1.5
<b>Ja</b>	2	2	2	2	2	2	2	1	1	2
<b>Jw</b>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<b>SRF</b>	2	2	1	2	2	2.5	2	2	1	2.5
<b>Q</b>	8.5	5.34	10.69	8.5	5.34	4.28	14.81	11.3	34	11.85
<b>Σ Q estación</b>	11.461 = 11.46									
<b>calidad</b>						<b>Valoración</b>	<b>Σ Q estación 02 hastial derecho</b>			
Excepcionalmente malo						< 0.01	<b>11.46</b>  <b>Bueno 10 - 40</b>			
Extremadamente malo						0.01 – 0.1				
Muy malo						0.1 - 1				
Malo						1 - 4				
Medio						4 - 10				
Bueno						10 - 40				
Muy bueno						40 - 100				
Extremadamente bueno						100 - 400				
Excepcionalmente bueno						>400				

Fuente: Elaboración propia del tesista.



Cuadro 20 Estación geomecánica 03 hastial izquierdo

ESTACION GEOMECANICA 03 HASTIAL IZQUIERDO										
TRAMO	0 - 1	1 - 2	2 - 3	3 - 4	4 - 5	5 - 6	6 - 7	7 - 8	8 - 9	9 - 10
FAMILIA	2	1	1	3	1	1	1	2	2	1
RQD	57	89	79	47	68	79	68	57	57	79
Jn	4	1	2	5	3	2	3	4	4	2
Jr	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1	1	1.5	1.5	1
Ja	2	2	2	3	2	2	2	2	2	2
Jw	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
SRF	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Q	10.69	66.75	29.62	4.7	17	19.75	11.3	10.69	10.69	19.75
$\Sigma Q$ estación	20.094 = 21									
<b>calidad</b>						<b>Valoración</b>		<b><math>\Sigma Q</math> estación 03 hastial izquierdo</b>		
Excepcionalmente malo						< 0.01		<b>21</b>  <b>Bueno 10 - 40</b>		
Extremadamente malo						0.01 – 0.1				
Muy malo						0.1 - 1				
Malo						1 - 4				
Medio						4 - 10				
Bueno						10 - 40				
Muy bueno						40 - 100				
Extremadamente bueno						100 - 400				
Excepcionalmente bueno						>400				

Fuente: Elaboración propia del tesista.



Cuadro 21 Estación geomecánica 03 hastial derecho

ESTACION GEOMECANICA 03 HASTIAL DERECHO										
TRAMO	0 - 1	1 - 2	2 - 3	3 - 4	4 - 5	5 - 6	6 - 7	7 - 8	8 - 9	9 - 10
FAMILIA	1	2	1	2	2	1	2	1	2	3
RQD	68	57	79	57	57	68	57	68	57	47
Jn	3	4	2	4	4	3	4	3	4	5
Jr	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1	1
Ja	2	2	2	3	2	3	3	2	3	2
Jw	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
SRF	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Q	17	10.69	29.62	7.1	10.69	11.3	7.1	17	4.75	4.7
$\Sigma Q$ estación	11.995 = 12									
<b>calidad</b>						<b>Valoración</b>	<b><math>\Sigma Q</math> estación 03 hastial derecho</b>			
Excepcionalmente malo						< 0.01	<b>12</b>  <b>Bueno 10 - 40</b>			
Extremadamente malo						0.01 - 0.1				
Muy malo						0.1 - 1				
Malo						1 - 4				
Medio						4 - 10				
Bueno						10 - 40				
Muy bueno						40 - 100				
Extremadamente bueno						100 - 400				
Excepcionalmente bueno						>400				

Fuente: Elaboración propia del tesista.



Cuadro 22 Estación geomecánica 04 hastial izquierdo

ESTACION GEOMECANICA 04 HASTIAL IZQUIERDO										
TRAMO	0 - 1	1 - 2	2 - 3	3 - 4	4 - 5	5 - 6	6 - 7	7 - 8	8 - 9	9 - 10
FAMILIA	1	1	1	1	2	1	2	1	2	3
RQD	68	68	79	68	57	68	47	68	57	38
Jn	3	3	2	3	4	3	5	3	4	6
Jr	1.5	1.5	1.5	1.5	1	1	1	1	1	1.5
Ja	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Jw	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
SRF	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
Q	6.8	6.8	11.9	6.8	2.9	4.53	1.9	4.53	2.9	1.26
$\Sigma Q$ estación	5.032 = 5.03									
<b>calidad</b>						<b>Valoración</b>	<b><math>\Sigma Q</math> estación 04 hastial izquierdo</b>			
Excepcionalmente malo						< 0.01	<b>5.03</b>  <b>Medio 4 - 10</b>			
Extremadamente malo						0.01 – 0.1				
Muy malo						0.1 - 1				
Malo						1 - 4				
Medio						4 - 10				
Bueno						10 - 40				
Muy bueno						40 - 100				
Extremadamente bueno						100 - 400				
Excepcionalmente bueno						>400				

Fuente: Elaboración propia del tesista.



Cuadro 23 Estación geomecánica 04 hastial derecho

<b>ESTACION GEOMECANICA 04 HASTIAL DEREHO</b>										
<b>TRAMO</b>	0 - 1	1 - 2	2 - 3	3 - 4	4 - 5	5 - 6	6 - 7	7 - 8	8 - 9	9 - 10
<b>FAMILIA</b>	2	1	2	1	1	2	2	2	3	3
<b>RQD</b>	57	79	57	68	68	57	57	57	47	47
<b>Jn</b>	4	2	4	3	3	4	4	4	5	5
<b>Jr</b>	1.5	1.5	1.5	1.5	1	1.5	1.5	0.5	1.5	1.5
<b>Ja</b>	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
<b>Jw</b>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<b>SRF</b>	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
<b>Q</b>	4.8	11.9	4.8	6.8	4.53	4.8	4.8	1.42	2.8	2.8
<b>Σ Q estación</b>	4.945 = 5									
<b>calidad</b>						<b>Valoración</b>	<b>Σ Q estación 04 hastial derecho</b>			
Excepcionalmente malo						< 0.01	<b>5</b>  <b>Medio 4 - 10</b>			
Extremadamente malo						0.01 – 0.1				
Muy malo						0.1 - 1				
Malo						1 - 4				
Medio						4 - 10				
Bueno						10 - 40				
Muy bueno						40 - 100				
Extremadamente bueno						100 - 400				
Excepcionalmente bueno						>400				

Fuente: Elaboración propia del tesista.



Cuadro 24 Estación geomecánica 05 hastial izquierdo

ESTACION GEOMECANICA 05 HASTIAL IZQUIERDO										
TRAMO	0 - 1	1 - 2	2 - 3	3 - 4	4 - 5	5 - 6	6 - 7	7 - 8	8 - 9	9 - 10
<b>FAMILIA</b>	2	2	2	1	3	2	2	2	1	1
<b>RQD</b>	47	47	47	68	38	57	47	57	68	68
<b>Jn</b>	5	5	5	3	6	4	5	4	3	3
<b>Jr</b>	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
<b>Ja</b>	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2
<b>Jw</b>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<b>SRF</b>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<b>Q</b>	7	7	7	17	9.5	10.69	7	10.69	17	17
<b>Σ Q estación</b>	10.988 = 11									
<b>calidad</b>						<b>Valoración</b>	<b>Σ Q estación 05 hastial izquierdo</b>			
Excepcionalmente malo						< 0.01	<b>11</b>  <b>Bueno 10 - 40</b>			
Extremadamente malo						0.01 – 0.1				
Muy malo						0.1 - 1				
Malo						1 - 4				
Medio						4 - 10				
Bueno						10 - 40				
Muy bueno						40 - 100				
Extremadamente bueno						100 - 400				
Excepcionalmente bueno						>400				

Fuente: Elaboración propia del tesista.



Cuadro 25 Estación geomecánica 05 hastial derecho

ESTACION GEOMECANICA 05 HASTIAL DERECHO										
TRAMO	0 - 1	1 - 2	2 - 3	3 - 4	4 - 5	5 - 6	6 - 7	7 - 8	8 - 9	9 - 10
FAMILIA	1	1	1	2	1	1	2	1	1	1
RQD	68	68	68	57	68	68	57	68	79	68
Jn	3	3	3	4	3	3	4	3	2	3
Jr	1.5	1.5	1.5	1	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1
Ja	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Jw	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
SRF	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Q	17	17	17	7.1	17	17	10.69	17	29.6	11.3
$\Sigma Q$ estación	16.069 = 16.7									
<b>calidad</b>						<b>Valoración</b>	<b><math>\Sigma Q</math> estación 05 hastial derecho</b>			
Excepcionalmente malo						< 0.01	<b>16.7</b>  <b>Bueno 10 - 40</b>			
Extremadamente malo						0.01 – 0.1				
Muy malo						0.1 - 1				
Malo						1 - 4				
Medio						4 - 10				
Bueno						10 - 40				
Muy bueno						40 - 100				
Extremadamente bueno						100 - 400				
Excepcionalmente bueno						>400				

Fuente: Elaboración propia del tesista.



Cuadro 26 Estación geomecánica 06 hastial izquierdo

ESTACION GEOMECANICA 06 HASTIAL IZQUIERDO												
TRAMO	0 - 1	1 - 2	2 - 3	3 - 4	4 - 5	5 - 6	6 - 7	7 - 8	8 - 9	9 - 10	10 - 11	11 - 12
<b>FAMILIA</b>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2
<b>RQD</b>	68	68	68	68	68	79	68	79	90	79	68	57
<b>Jn</b>	3	3	3	3	3	2	3	2	1	2	3	4
<b>Jr</b>	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	0.5	1	1	1	1	1	1
<b>Ja</b>	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
<b>Jw</b>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<b>SRF</b>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<b>Q</b>	34	17	17	17	17	9.9	11.3	19.8	45	19.8	11.3	7.1
<b>Σ Q estación</b>	18.85 = 18.9											
<b>calidad</b>						<b>Valoración</b>			<b>Σ Q estación</b>			
Excepcionalmente malo						< 0.01			<b>18.9</b>  <b>Bueno 10 - 40</b>			
Extremadamente malo						0.01 – 0.1						
Muy malo						0.1 - 1						
Malo						1 - 4						
Medio						4 - 10						
Bueno						10 - 40						
Muy bueno						40 - 100						
Extremadamente bueno						100 - 400						
Excepcionalmente bueno						>400						

Fuente: Elaboración propia del tesista.



Cuadro 27 Estación geomecánica 06 hastial derecho

ESTACION GEOMECANICA 06 HATIAL DERECHO										
TRAMO	0 - 1	1 - 2	2 - 3	3 - 4	4 - 5	5 - 6	6 - 7	7 - 8	8 - 9	9 - 10
FAMILIA	1	1	2	1	1	1	1	1	2	1
RQD	79	68	57	68	68	68	68	79	57	68
Jn	2	3	4	3	3	3	3	2	4	3
Jr	1.5	0.5	0.5	1	1	1.5	1	1	1	1
Ja	2	2	2	1	1	1	0.75	1	1	1
Jw	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
SRF	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Q	29.6	5.6	3.56	22.6	22.6	34	17	39.5	14.3	22.6
$\Sigma Q$ estación	21.136 = 21.14									
<b>calidad</b>						<b>Valoración</b>	<b><math>\Sigma Q</math> estación 06 hastial derecho</b>			
Excepcionalmente malo						< 0.01	<b>21.14</b>  <b>Bueno 10 - 40</b>			
Extremadamente malo						0.01 - 0.1				
Muy malo						0.1 - 1				
Malo						1 - 4				
Medio						4 - 10				
Bueno						10 - 40				
Muy bueno						40 - 100				
Extremadamente bueno						100 - 400				
Excepcionalmente bueno						>400				

Fuente: Elaboración propia del tesista.

#### 4.4.2 Índice de resistencia geológico (GSI)

Con la aparición del criterio de ruptura de Hoek & Brown el uso del RMR ya no es adecuado, sobre todo para el caso de rocas débiles, y se introduce de esta forma el GSI (Hoek, et. 1995) Hoek y Brown hay que utilizar la clasificación del GSI para identificar su resistencia del macizo rocoso utilizarlo con precaución.

El GSI es un sistema para estimación de las propiedades geomecánicas del macizo rocoso a partir de observaciones geológicas de campo y cabe recalcar que el GSI no es una clasificación geomecánica.

Las relaciones existentes entre GSI y RMR, depende del RMR utilizado se detalla con los parámetros establecidos.

Para el caso de RMR<sub>76</sub>

$$\text{RMR}_{76} > 18 \rightarrow \text{GSI} = \text{RMR}$$

$\text{RMR}_{76} < 18 \rightarrow$  No se puede utilizar el RMR para la obtención del GSI

Para el caso de RMR<sub>89</sub>

$$\text{RMR}_{89} > 23 \rightarrow \text{GSI} = \text{RMR}_{89} - 5$$

$\text{RMR}_{89} < 23 \rightarrow$  No se puede utilizar el RMR para la obtención del GSI

Hoek recomienda hacer siempre referencia a un rango numérico y nunca a un solo valor del GSI y también sugiere la posibilidad a falta de una apreciación directa en campo y solo para macizos rocosos caracterizados por un  $\text{GSI} > 25$  como se muestran los resultados obtenidos en los cuadros 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39 de estimar este a partir del RMR de Bieniawski, depurando del factor d orientación de las discontinuidades y asignando 10 al factor de agua. Russo (1998) propone estimar el GSI también a partir del índice Q de Barton, depurándolo del factor (SRF) y asignando 1 al parámetro de agua (Jw), obteniendo luego, de acuerdo con relación entre el Q de Barton y el RMR de Bieniawski.  $\text{GSI} = 9 \lg(Q) + 44$ .

Cuadro 28 Estación geomecánica 01 GSI hastial izquierdo

<b>ESTACION GEOMECANICA 01 HASTIAL IZQUIERDO</b>		
<b>DATO</b>	<b><math>\Sigma RMR_{89} &gt; 23</math></b>	<b><math>9 \lg(\Sigma Q) + 44</math></b>
		63
<b>GSI</b>	58	60

Fuente: Elaboración propia del tesista.

Cuadro 29 Estación geomecánica 01 GSI hastial derecho

<b>ESTACION GEOMECANICA 01 HASTIAL DERECHO</b>		
<b>DATO</b>	<b><math>\Sigma RMR_{89} &gt; 23</math></b>	<b><math>9 \lg(\Sigma Q) + 44</math></b>
		58
<b>GSI</b>	53	54

Fuente: Elaboración propia del tesista.

Cuadro 30 Estación geomecánica 02 GSI hastial izquierdo

<b>ESTACION GEOMECANICA 02 HASTIAL IZQUIERDO</b>		
<b>DATO</b>	<b><math>\Sigma RMR_{89} &gt; 23</math></b>	<b><math>9 \lg(\Sigma Q) + 44</math></b>
		58
<b>GSI</b>	53	53.3

Fuente: Elaboración propia del tesista.

Cuadro 31 Estación geomecánica 02 GSI hastial derecho

<b>ESTACION GEOMECANICA 02 HASTIAL DERECHO</b>		
<b>DATO</b>	<b><math>\Sigma RMR_{89} &gt; 23</math></b>	<b><math>9 \lg(\Sigma Q) + 44</math></b>
		57
<b>GSI</b>	52	53.53

Fuente: Elaboración propia del tesista.

Cuadro 32 *Estación geomecánica 03 GSI hastial izquierdo*

<b>ESTACION GEOMECANICA 03 HASTIAL IZQUIERDO</b>		
<b>DATO</b>	<b><math>\Sigma RMR_{89} &gt; 23</math></b>	<b><math>9\lg(\Sigma Q) + 44</math></b>
		64
<b>GSI</b>	59	55.89

Fuente: Elaboración propia del tesista.

Cuadro 33 *Estación geomecánica 03 GSI hastial derecho*

<b>ESTACION GEOMECANICA 03 HASTIAL DERECHO</b>		
<b>DATO</b>	<b><math>\Sigma RMR_{89} &gt; 23</math></b>	<b><math>9\lg(\Sigma Q) + 44</math></b>
		61
<b>GSI</b>	56	53.71

Fuente: Elaboración propia del tesista.

Cuadro 34 *Estación geomecánica 04 GSI hastial izquierdo*

<b>ESTACION GEOMECANICA 04 HASTIAL IZQUIERDO</b>		
<b>DATO</b>	<b><math>\Sigma RMR_{89} &gt; 23</math></b>	<b><math>9\lg(\Sigma Q) + 44</math></b>
		57
<b>GSI</b>	52	50.31

Fuente: Elaboración propia del tesista.

Cuadro 35 *Estación geomecánica 04 GSI hastial derecho*

<b>ESTACION GEOMECANICA 04 HASTIAL DERECHO</b>		
<b>DATO</b>	<b><math>\Sigma RMR_{89} &gt; 23</math></b>	<b><math>9\lg(\Sigma Q) + 44</math></b>
		53
<b>GSI</b>	48	50.29

Fuente: Elaboración propia del tesista.

Cuadro 36 *Estación geomecánica 05 GSI hastial izquierdo*

<b>ESTACION GEOMECANICA 05 HASTIAL IZQUIERDO</b>		
<b>DATO</b>	<b><math>\Sigma RMR89 &gt; 23</math></b>	<b><math>9lg(\Sigma Q) + 44</math></b>
		57
<b>GSI</b>	52	53.37

Fuente: Elaboración propia del tesista.

Cuadro 37 *Estación geomecánica 05 GSI hastial derecho*

<b>ESTACION GEOMECANICA 05 HASTIAL DERECHO</b>		
<b>DATO</b>	<b><math>\Sigma RMR89 &gt; 23</math></b>	<b><math>9lg(\Sigma Q) + 44</math></b>
		64
<b>GSI</b>	59	55

Fuente: Elaboración propia del tesista.

Cuadro 38 *Estación geomecánica 06 GSI hastial izquierdo*

<b>ESTACION GEOMECANICA 06 HASTIAL IZQUIERDO</b>		
<b>DATO</b>	<b><math>\Sigma RMR89 &gt; 23</math></b>	<b><math>9lg(\Sigma Q) + 44</math></b>
		64
<b>GSI</b>	59	55.48

Fuente: Elaboración propia del tesista.

Cuadro 39 *Estación geomecánica 06 GSI hastial derecho*

<b>ESTACION GEOMECANICA 06 HASTIAL DERECHO</b>		
<b>DATO</b>	<b><math>\Sigma RMR89 &gt; 23</math></b>	<b><math>9lg(\Sigma Q) + 44</math></b>
		63
<b>GSI</b>	58	55.92

Fuente: Elaboración propia del tesista.

#### 4.5 Modelamiento estructural del macizo rocoso

El modelamiento estructural será dado en cada estación del mapeo geomecánico del proyecto de investigación, indicando todas las características estructurales del macizo rocoso cuantificados y gráficamente representados en las figuras de los dominios geotécnicos 9, 10, 11, 12, 13, 14. Generando así un conocimiento general y vista panorámica de la calidad del macizo rocoso y niveles de estado tensional dentro de la caracterización, que posteriormente se realizara el diseño de sostenimiento con los ábacos pertinentes.

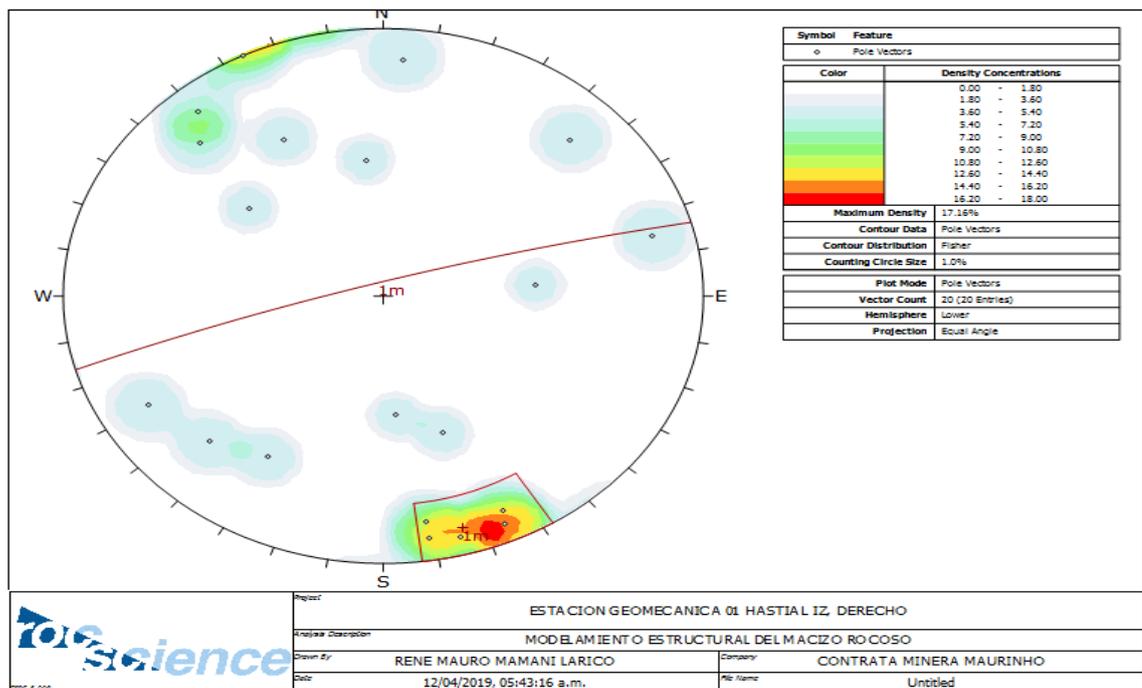


Figura 9

Modelamiento del macizo rocoso con el software dips 06 hastial izquierdo, derecho estación geomecánica 01.

ESTACION GEOMECANICA 01 HASTIAL IZQUIERDO GRADIENTE(10°+)		
DIRECCION DE LA EXCAVACION (15°)		
E = 452287.160	N = 8384331.097	COTA = 4972.251
ΣRQD	66.8	Regular (50 - 75)
RMR	63	
C	0.313	Mpa
φ	34°	
ΣQ	63	Muy bueno (40 - 100)
GSI(RMR <sub>0</sub> )	58	
GSI(Q)	60	

ESTACION GEOMECANICA 01 HASTIAL DERECHO GRADIENTE(10°+)		
DIRECCION DE LA EXCAVACION (15°)		
E = 452289.968	N = 8384331.097	COTA = 4972.251
ΣRQD	60.3	Regular (50 - 75)
RMR	58	
C	0.29	Mpa
φ	32°	
ΣQ	13.48	Bueno (40 - 10)
GSI(RMR <sub>0</sub> )	53	
GSI(Q)	54	

Fuente: Elaboracion propia del tesista.

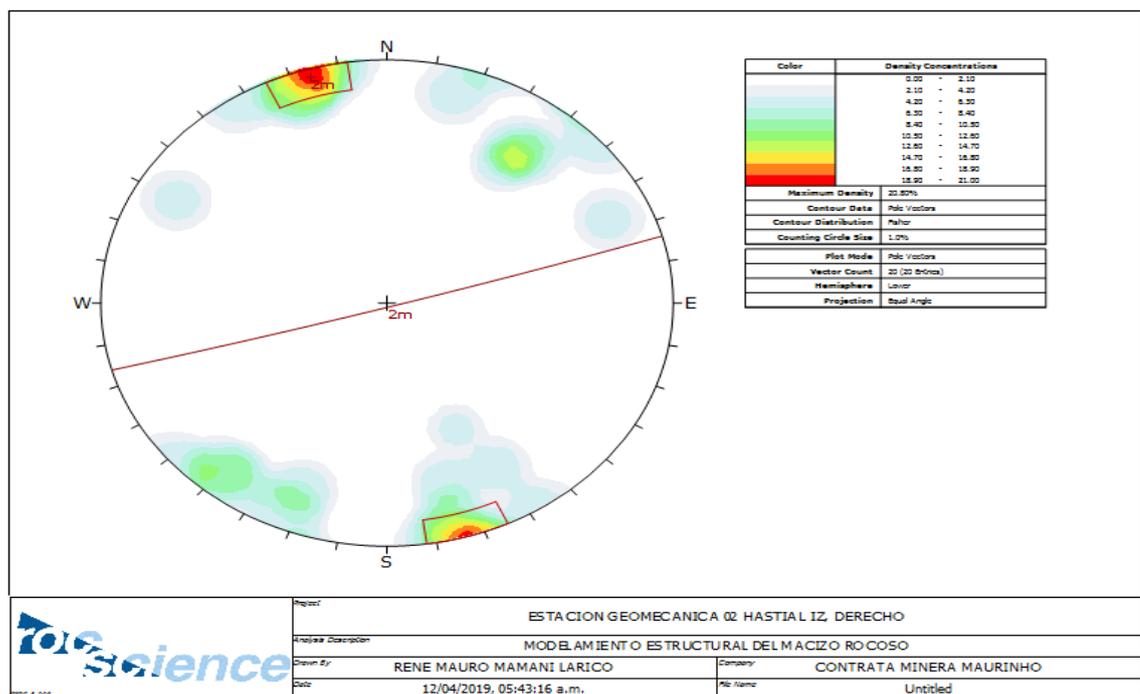
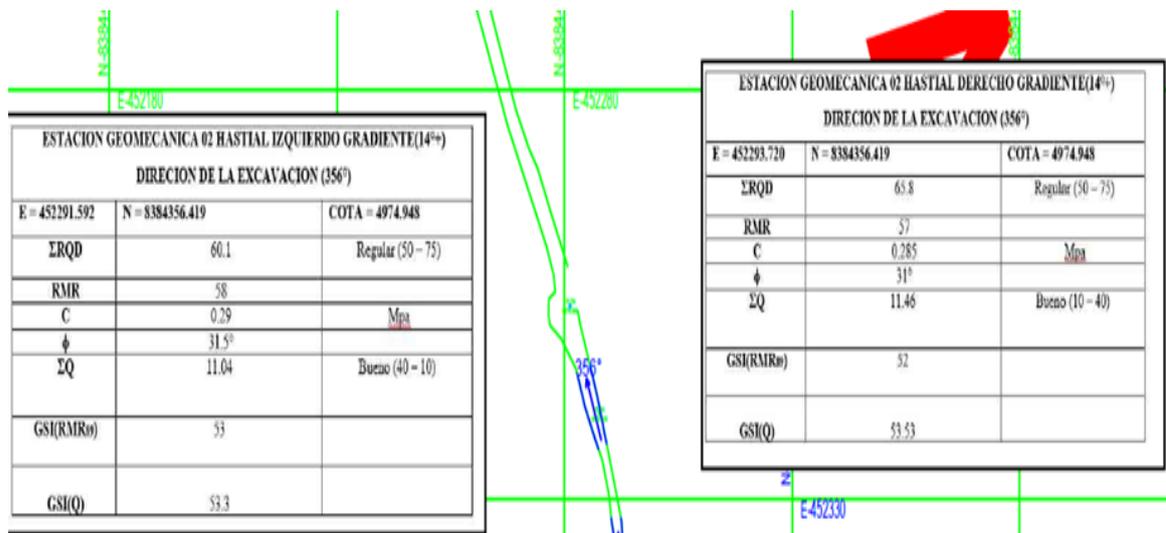


Figura 10

Modelamiento del macizo rocoso con el software dips 06 hastial izquierdo, derecho estación geomecánica 02.



Fuente: Elaboracion propia del tesista.

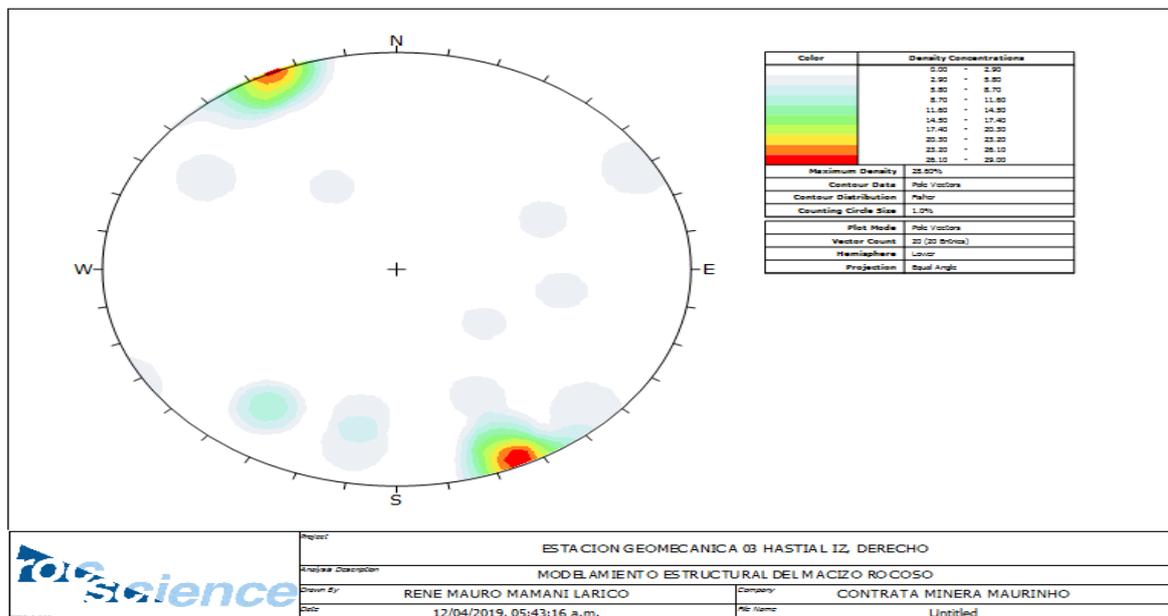
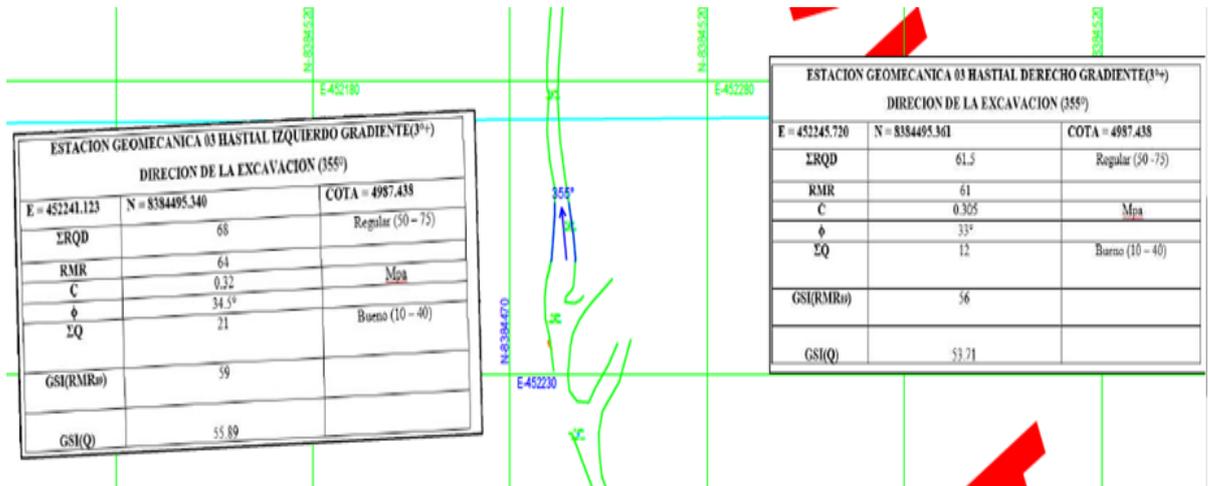


Figura 11

Modelamiento del macizo rocoso con el software dips 06 hastial izquierdo, derecho estación geomecánica 03.



Fuente: Elaboracion propia del tesista.

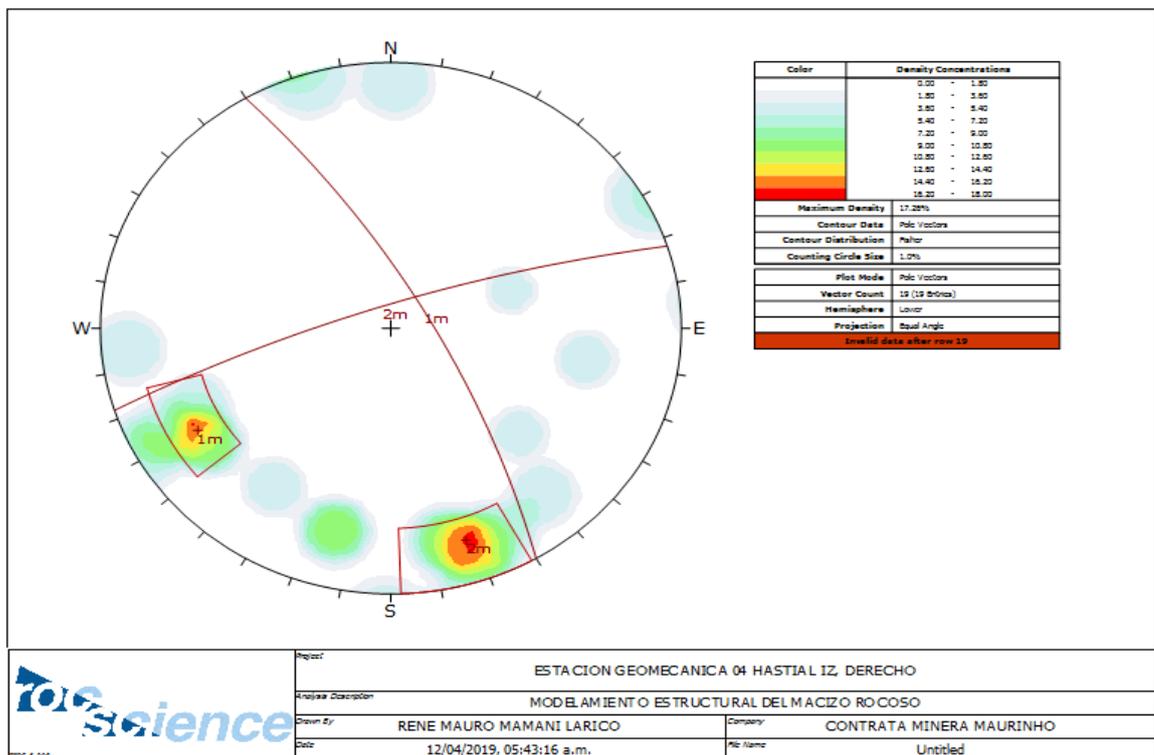
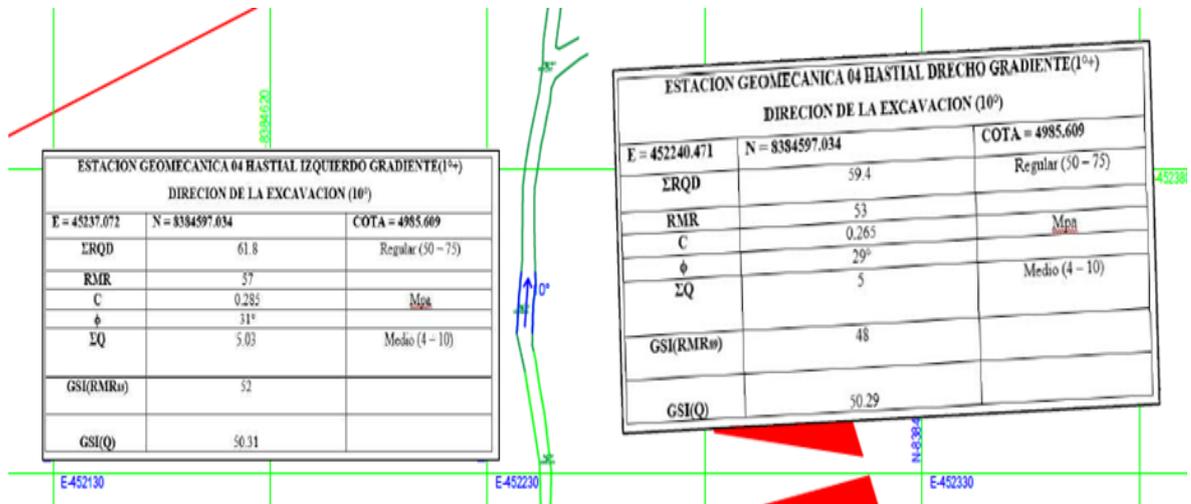


Figura 12

Modelamiento del macizo con el software dips 06 rocoso hastial izquierdo, derecho estación geomecánica 04



Fuente: Elaboracion propia del tesista.

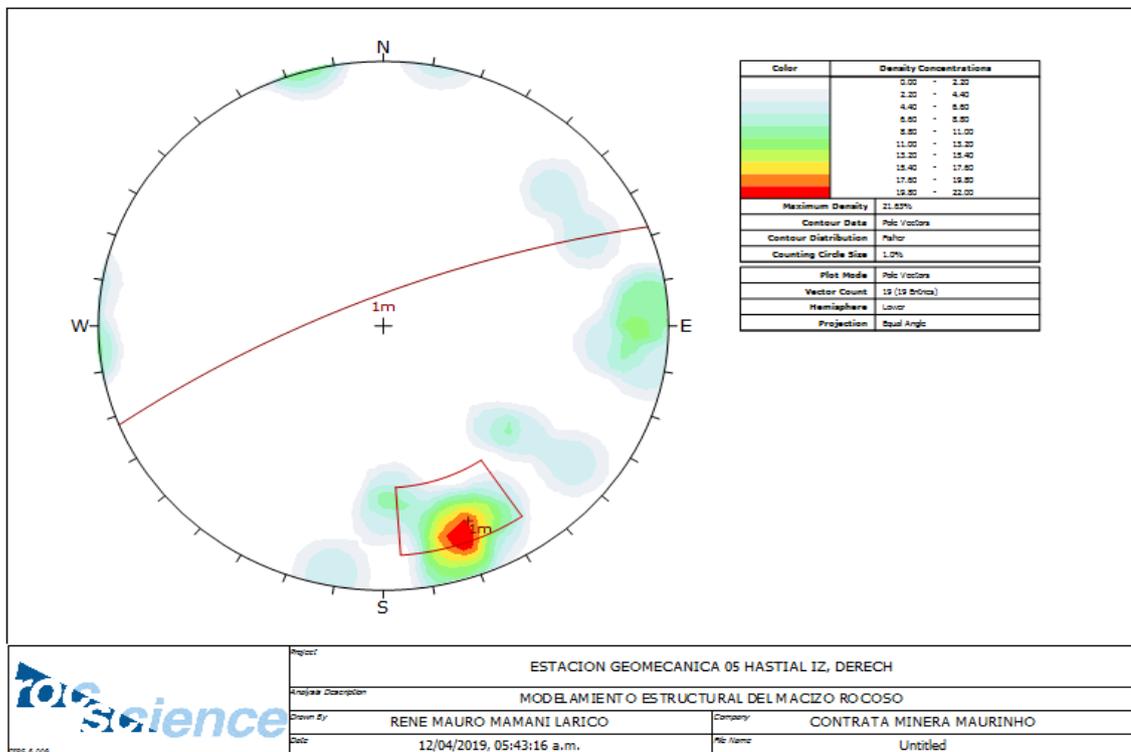
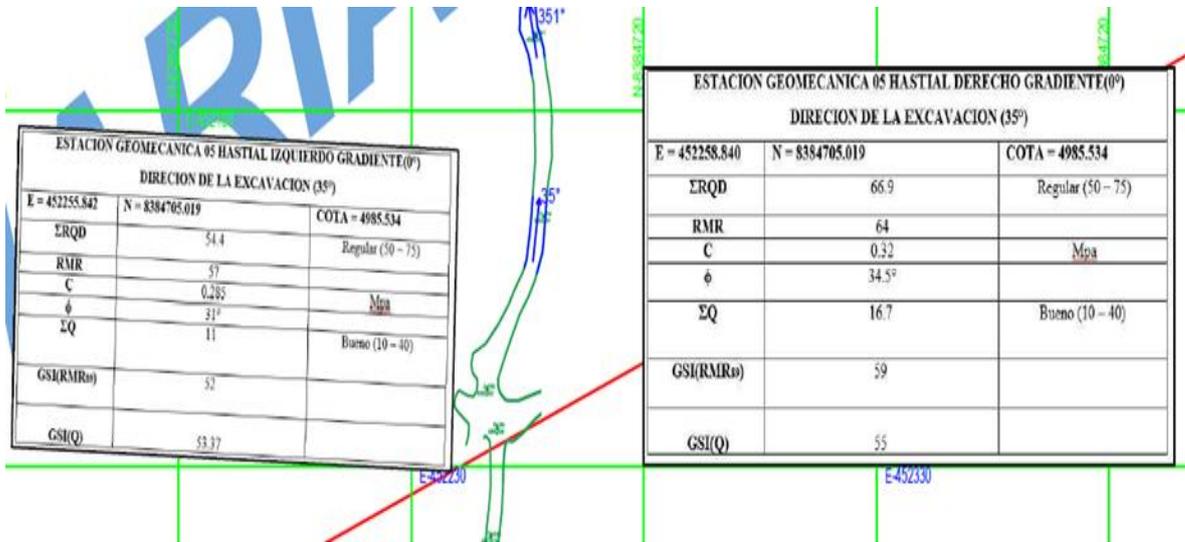


Figura 13

Modelamiento del macizo rocoso con el software dips 06 hastial izquierdo, derecho estación geomecánica 05.



Fuente: Elaboracion propia del tesista

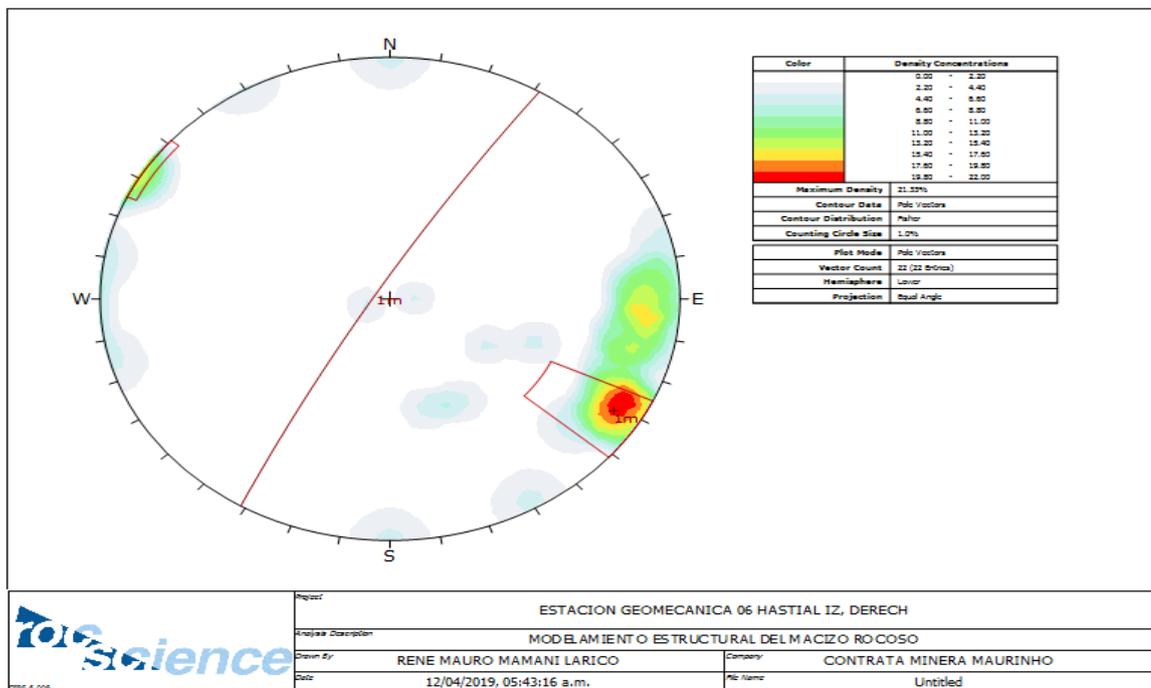


Figura 14

Modelamiento del macizo rocoso con el software dips 06 hastial izquierdo, derecho estación geomecánica 06.

ESTACION GEOMECANICA 06 HASTIAL IZQUIERDO GRADIENTE(8°+)		
DIRECCION DE LA EXCAVACION (351°)		
E = 452253.748	N = 8384730.345	COTA = 4988.887
ERQD	59.4	Regular (50 - 75)
RMR	64	
C	0.32	Mpa
$\phi$	34.5°	
$\Sigma Q$	18.9	Bueno (10 - 40)
GSI(RMR <sub>0</sub> )	59	
GSI(Q)	55.48	

ESTACION GEOMECANICA 06 HASTIAL DERECHO GRADIENTE(8°+)		
DIRECCION DE LA EXCAVACION (351°)		
E = 452257.778	N = 8384730.345	COTA = 4988.887
$\Sigma RQD$	61.2	Regular (50 - 75)
RMR	63	
C	0.315	Mpa
$\phi$	34°	
$\Sigma Q$	21.14	Bueno (10 - 40)
GSI(RMR <sub>0</sub> )	58	
GSI(Q)	55.92	

Fuente: Elaboracion propia del tesista.

#### 4.6 Diseño de sostenimiento

La importancia de la interacción en el diseño de sostenimiento dependerá de los parámetros geomecánicos y operativos, siendo el pilar clave para una adecuada recomendación de sostenimiento. Esto con el objetivo de brindar un adecuado control de inestabilidad, la interacción conjunta, también esta vital para seleccionar en forma óptima la alternativa de sostenimiento, salvaguardando los intereses de seguridad, productividad y de costos en el proyecto subterráneo (Flores 2013)

Fuente wilberth c. lope. Pag 115



#### 4.7.1 Parámetro geomecánico

La evaluación geomecánica de las labores, corresponde a un principio fundamental en la elección correcta de la técnica de sostenimiento. (Flores .2013). La importancia del estudio del parámetro geomecánico, deberá considerar los siguientes parámetros básicos de estudio:

Fuente wilberth c. lope. Pag 115

##### 4.7.1.1 Calidad geomecánica de la zona inestable

Las zonas inestables dentro del presente proyecto descriptivo, se detallan los resultados obtenidos en los cuadros de las seis estaciones geomecánicas en los siguientes cuadros.

Cuadro 40 Estación geomecánica 01 calidad de la zona inestable HI

<b>ESTACION GEOMECANICA 01 HASTIAL IZQUIERDO GRADIENTE(10°+)</b>		
<b>DIRECION DE LA EXCAVACION (15°)</b>		
<b>E = 452287.160</b>	<b>N = 8384331.097</b>	<b>COTA = 4972.251</b>
<b>ΣRQD</b>	66.8	Regular (50 – 75)
<b>RMR</b>	63	
<b>C</b>	0.315	Mpa
<b>φ</b>	34°	
<b>ΣQ</b>	63	Muy bueno (40 – 100)
<b>GSI(RMR<sub>89</sub>)</b>	58	
<b>GSI(Q)</b>	60	

Fuente: Elaboración propia del tesista.



Cuadro 41 *Estación geomecánica 01 calidad de la zona inestable HD*

<b>ESTACION GEOMECANICA 01 HASTIAL DERECHO GRADIENTE(10°+)</b>		
<b>DIRECION DE LA EXCAVACION (15°)</b>		
<b>E =452289.868</b>	<b>N = 8384331.097</b>	<b>COTA = 4972.251</b>
<b>ΣRQD</b>	60.3	Regular (50 – 75)
<b>RMR</b>	58	
<b>C</b>	0.29	Mpa
<b>φ</b>	32°	
<b>ΣQ</b>	13.48	Bueno (10 – 40)
<b>GSI(RMR<sub>89</sub>)</b>	53	
<b>GSI(Q)</b>	54	

Fuente: Elaboración propia del tesista.

Cuadro 42 *Estación geomecánica 02 calidad de la zona inestable HI*

<b>ESTACION GEOMECANICA 02 HASTIAL IZQUIERDO GRADIENTE(14°+)</b>		
<b>DIRECION DE LA EXCAVACION (356°)</b>		
<b>E = 452291.592</b>	<b>N = 8384356.419</b>	<b>COTA = 4974.948</b>
<b>ΣRQD</b>	60.1	Regular (50 – 75)
<b>RMR</b>	58	
<b>C</b>	0.29	Mpa
<b>φ</b>	31.5°	
<b>ΣQ</b>	11.04	Bueno (10 – 40)
<b>GSI(RMR<sub>89</sub>)</b>	53	
<b>GSI(Q)</b>	53.3	

Fuente: Elaboración propia del tesista.

Cuadro 43 *Estación geomecánica 02 calidad de la zona inestable HD*

<b>ESTACION GEOMECANICA 02 HASTIAL DERECHO GRADIENTE(14°+)</b>		
<b>DIRECION DE LA EXCAVACION (356°)</b>		
<b>E = 452293.720</b>	<b>N = 8384356.419</b>	<b>COTA = 4974.948</b>
<b>ΣRQD</b>	65.8	Regular (50 – 75)
<b>RMR</b>	57	
<b>C</b>	0.285	Mpa
<b>φ</b>	31°	
<b>ΣQ</b>	11.46	Bueno (10 – 40)
<b>GSI(RMR<sub>89</sub>)</b>	52	
<b>GSI(Q)</b>	53.53	

Fuente: Elaboración propia del tesista.

Cuadro 44 *Estación geomecánica 03 calidad d la zona inestable HI*

<b>ESTACION GEOMECANICA 03 HASTIAL IZQUIERDO GRADIENTE(3°+)</b>		
<b>DIRECION DE LA EXCAVACION (355°)</b>		
<b>E = 452241.123</b>	<b>N = 8384495.340</b>	<b>COTA = 4987.438</b>
<b>ΣRQD</b>	68	Regular (50 – 75)
<b>RMR</b>	64	
<b>C</b>	0.32	Mpa
<b>φ</b>	34.5°	
<b>ΣQ</b>	21	Bueno (10 – 40)
<b>GSI(RMR<sub>89</sub>)</b>	59	
<b>GSI(Q)</b>	55.89	

Fuente: Elaboración propia del tesista.

Cuadro 45 Estación geomecánica 03 calidad de la zona inestable HD

<b>ESTACION GEOMECANICA 03 HASTIAL DERECHO GRADIENTE(3°+)</b>		
<b>DIRECION DE LA EXCAVACION (355°)</b>		
<b>E = 452245.720</b>	<b>N = 8384495.361</b>	<b>COTA = 4987.438</b>
<b>ΣRQD</b>	61.5	Regular (50 -75)
<b>RMR</b>	61	
<b>C</b>	0.305	Mpa
<b>φ</b>	33°	
<b>ΣQ</b>	12	Bueno (10 – 40)
<b>GSI(RMR<sub>89</sub>)</b>	56	
<b>GSI(Q)</b>	53.71	

Fuente: Elaboración propia del tesista.

Cuadro 46 Estación geomecánica 04 calidad d la zona inestable HI

<b>ESTACION GEOMECANICA 04 HASTIAL IZQUIERDO GRADIENTE(1°+)</b>		
<b>DIRECION DE LA EXCAVACION (10°)</b>		
<b>E = 45237.072</b>	<b>N = 8384597.034</b>	<b>COTA = 4985.609</b>
<b>ΣRQD</b>	61.8	Regular (50 – 75)
<b>RMR</b>	57	
<b>C</b>	0.285	Mpa
<b>φ</b>	31°	
<b>ΣQ</b>	5.03	Medio (4 – 10)
<b>GSI(RMR<sub>89</sub>)</b>	52	
<b>GSI(Q)</b>	50.31	

Fuente: Elaboración propia del tesista.

Cuadro 47 *Estación geomecánica 04 calidad de la zona inestable HD*

<b>ESTACION GEOMECANICA 04 HASTIAL DRECHO GRADIENTE(1°+)</b>		
<b>DIRECION DE LA EXCAVACION (10°)</b>		
<b>E = 452240.471</b>	<b>N = 8384597.034</b>	<b>COTA = 4985.609</b>
<b>ΣRQD</b>	59.4	Regular (50 – 75)
<b>RMR</b>	53	
<b>C</b>	0.265	Mpa
<b>φ</b>	29°	
<b>ΣQ</b>	5	Medio (4 – 10)
<b>GSI(RMR<sub>89</sub>)</b>	48	
<b>GSI(Q)</b>	50.29	

Fuente: Elaboración propia del tesista.

Cuadro 48 *Estación geomecánica 05 calidad de la zona inestable HI*

<b>ESTACION GEOMECANICA 05 HASTIAL IZQUIERDO GRADIENTE(0°)</b>		
<b>DIRECION DE LA EXCAVACION (35°)</b>		
<b>E = 452255.842</b>	<b>N = 8384705.019</b>	<b>COTA = 4985.534</b>
<b>ΣRQD</b>	54.4	Regular (50 – 75)
<b>RMR</b>	57	
<b>C</b>	0.285	Mpa
<b>φ</b>	31°	
<b>ΣQ</b>	11	Bueno (10 – 40)
<b>GSI(RMR<sub>89</sub>)</b>	52	
<b>GSI(Q)</b>	53.37	

Fuente: Elaboración propia del tesista.

Cuadro 49 Estación geomecánica 05 calidad de la zona inestable HD

<b>ESTACION GEOMECANICA 05 HASTIAL DERECHO GRADIENTE(0°)</b>		
<b>DIRECION DE LA EXCAVACION (35°)</b>		
<b>E = 452258.840</b>	<b>N = 8384705.019</b>	<b>COTA = 4985.534</b>
<b>ΣRQD</b>	66.9	Regular (50 – 75)
<b>RMR</b>	64	
<b>C</b>	0.32	Mpa
<b>φ</b>	34.5°	
<b>ΣQ</b>	16.7	Bueno (10 – 40)
<b>GSI(RMR<sub>89</sub>)</b>	59	
<b>GSI(Q)</b>	55	

Fuente: Elaboración propia del tesista.

Cuadro 50 Estación geomecánica 06 calidad de la zona inestable HI

<b>ESTACION GEOMECANICA 06 HASTIAL IZQUIERDO GRADIENTE(8°+)</b>		
<b>DIRECION DE LA EXCAVACION (351°)</b>		
<b>E = 452253.748</b>	<b>N = 8384730.345</b>	<b>COTA = 4988.887</b>
<b>ΣRQD</b>	59.4	Regular (50 – 75)
<b>RMR</b>	64	
<b>C</b>	0.32	Mpa
<b>φ</b>	34.5°	
<b>ΣQ</b>	18.9	Bueno (10 – 40)
<b>GSI(RMR<sub>89</sub>)</b>	59	
<b>GSI(Q)</b>	55.48	

Fuente: Elaboración propia del tesista.

Cuadro 51 Estación geomecánica 06 calidad de la zona inestable HD

<b>ESTACION GEOMECANICA 06 HASTIAL DERECHO GRADIENTE(8°+)</b>		
<b>DIRECION DE LA EXCAVACION (351°)</b>		
<b>E = 452257.778</b>	<b>N = 8384730.345</b>	<b>COTA = 4988.887</b>
<b>ΣRQD</b>	61.2	Regular (50 -75)
<b>RMR</b>	63	
<b>C</b>	0.315	Mpa
<b>φ</b>	34°	
<b>ΣQ</b>	21.14	Bueno (10 – 40)
<b>GSI(RMR<sub>89</sub>)</b>	58	
<b>GSI(Q)</b>	55.92	

Fuente: Elaboración propia del tesista.

#### 4.7.1.2 Niveles de esfuerzos presentes en la zona de trabajo (PHASE02)

Los estados tensionales obtenidos en el presente proyecto mediante una simulación realizado con el software Phase02, para todos los hastiales derecho e izquierdo de las seis estaciones geomecánicas se considera, ( $\sigma_{01} = 3.38\text{Mpa}$ ,  $\sigma_{02} = 2\text{Mpa}$ ,  $\sigma_{03} = 1.35\text{ Mpa}$ ) , También siguiendo el mismo Patrón para cada esfuerzo con la diferencia del Angulo de Gradiente, mostrando como resultado cada estación geomecánica en las siguientes Figuras 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26.



**Field Stress Properties**

Field Stress Type:

Sigma 1 (MPa, Comp. +):

Sigma 3 (MPa, Comp. +):

Sigma Z (MPa, Comp. +):

Angle (degrees from horizontal, CCW):

Locked-in horizontal stress (in plane) (MPa, Comp. +):

Locked-in horizontal stress (out-of-plane) (MPa, Comp. +):

Buttons: OK, Cancel, Statistics..., Advanced >>

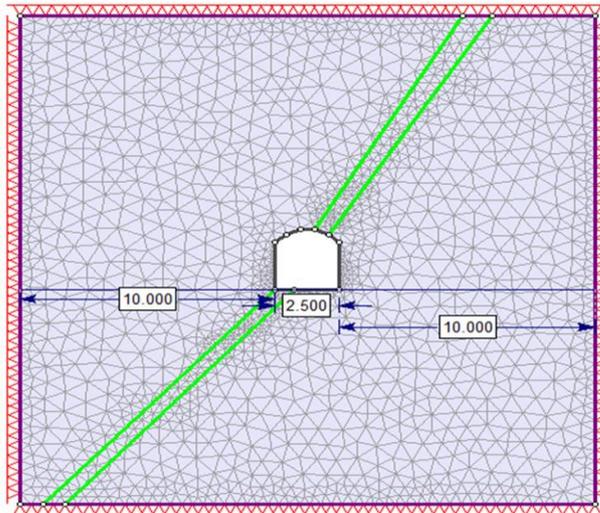
**Project Settings**

General  
Stages  
Stress Analysis  
Groundwater  
Statistics  
Strength Reduction  
**Project Summary**

**Project Summary**

Type	Description
Project Title	ESTACION GEOMECANICA 01 HASTIAL DERECHO
Analysis	ESFUERZOS TENSIONALES
Author	RENE MAURO MAMANI LARICO
Company	CONTRATA MINERA MAURINO
Date Created	09/04/2019, 07:43:35 p.m.
Comment 1	
Comment 2	
Comment 3	
Comment 4	
Comment 5	

Buttons: OK, Cancel



**Material: Material 1**

Color	field stress only
Initial element loading	isotropic
Elastic type	7321.4 MPa
Young's modulus	0.3
Poisson's ratio	Generalized Hoek-Brown
Failure Criterion	Elastic
Material type	100 MPa
Compressive strength	1.30648
mb parameter	0.005395
s parameter	0.504656
a parameter	None
Piezo to use	0
Ru value	

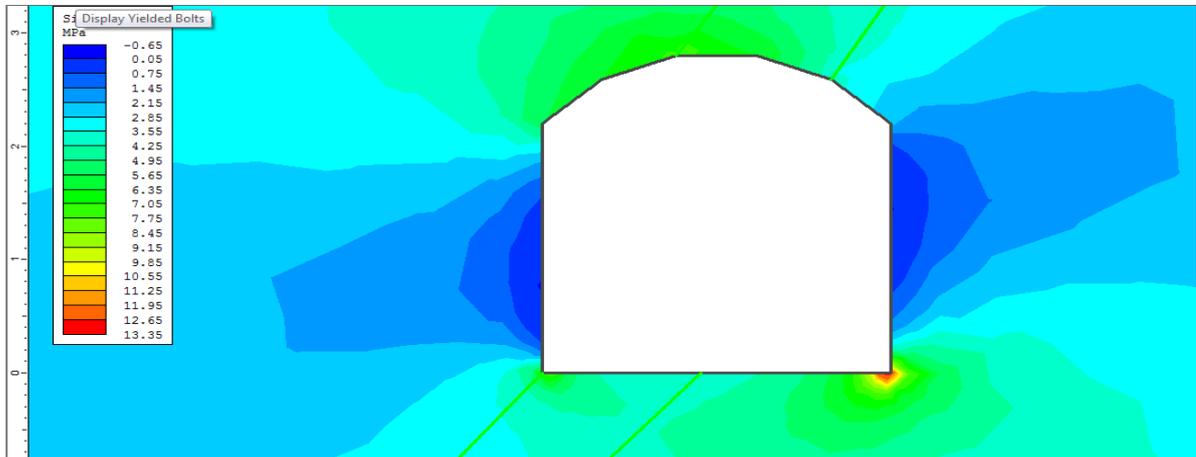


Figura 15. Estación geomecánica 01 hastial izquierdo estado tensional

Fuente: elaboración propia del tesista.

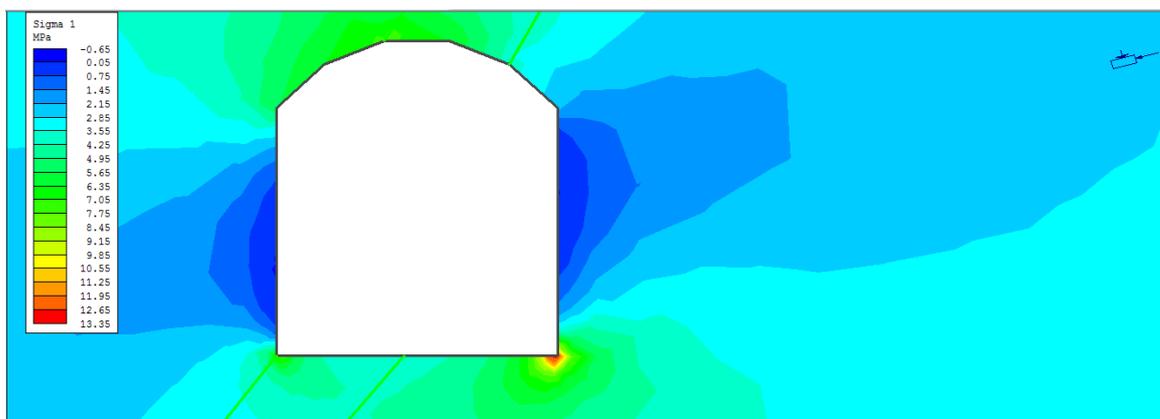


Figura 16. Estación geomecánica 01 hastial derecho estado tensional

Fuente: Elaboración propia del tesista.

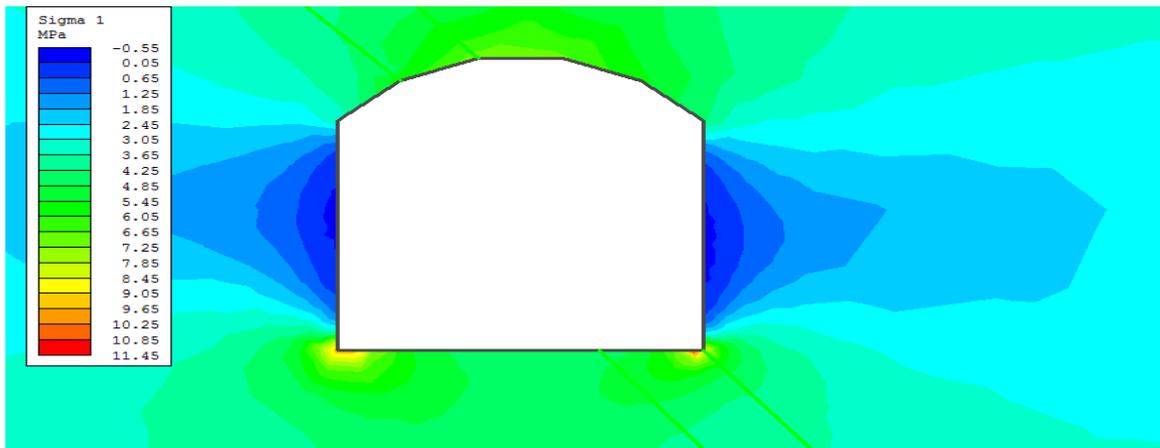


Figura 17. Estación geomecánica 02 hastial izquierdo estado tensional

Fuente: elaboración propia del tesista.

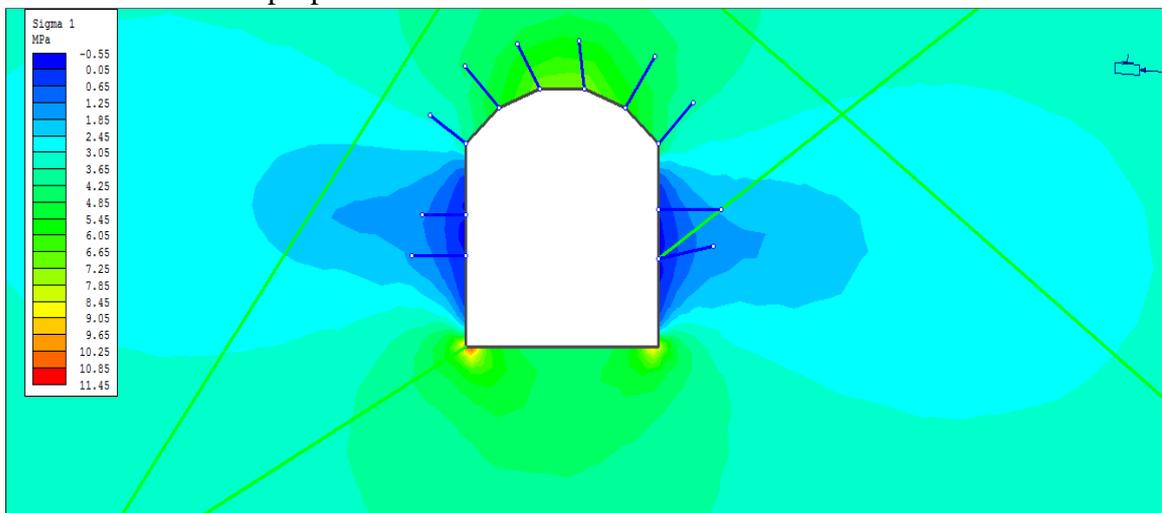


Figura 18. Estación geomecánica 02 hastial derecho estado tensional

Fuente: elaboración propia del tesista.

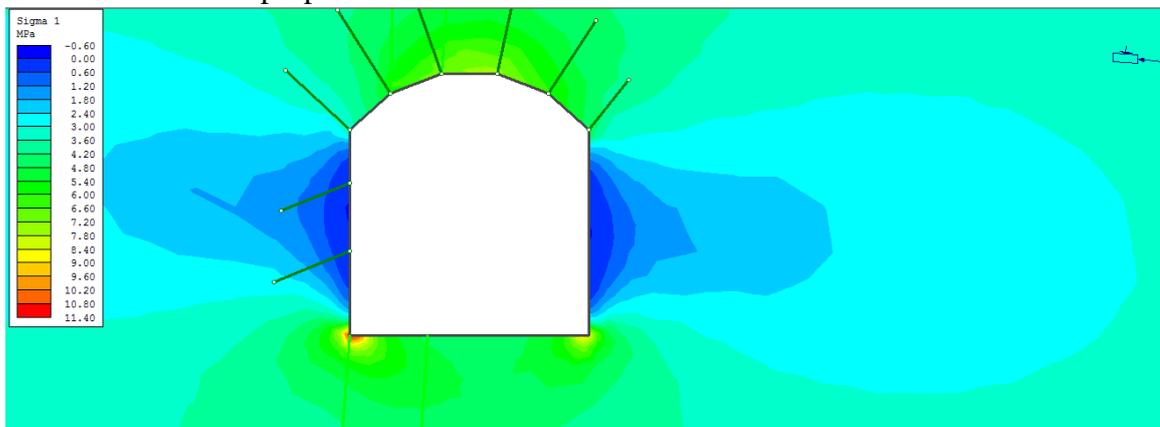


Figura 19. estacion geomecanica 03 hastial izquierdo estado tensional

Fuente: elaboración propia del tesista.

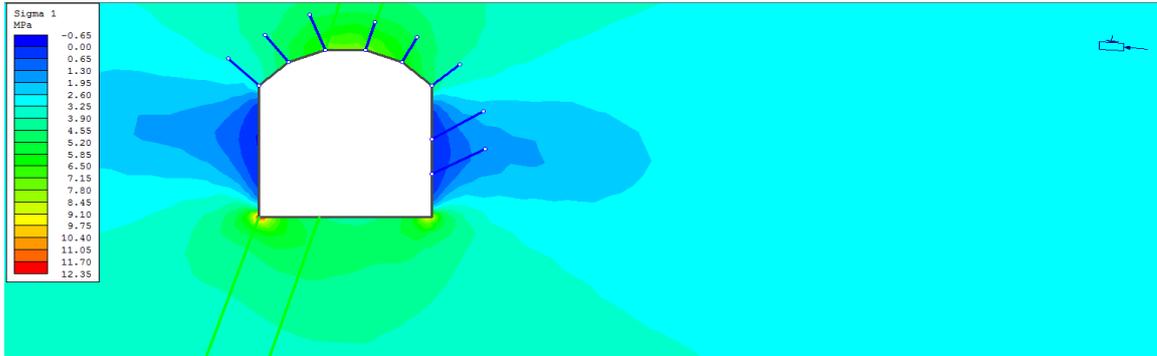


Figura 20. estación geomecánica 03 hastial derecho estado tensional

Fuente: elaboración propia del tesista.

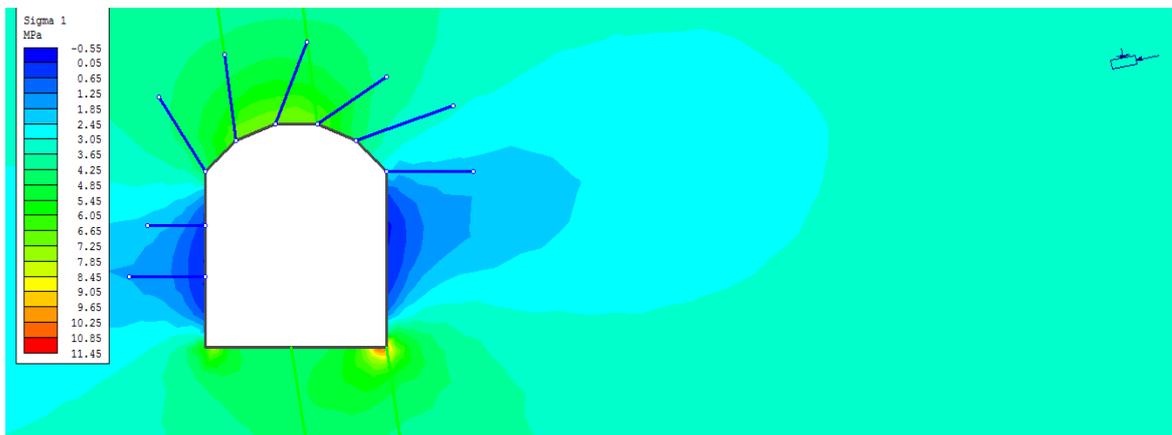


Figura 21. estación geomecánica 04 hastial izquierdo estado tensional

Fuente: elaboración propia del tesista.

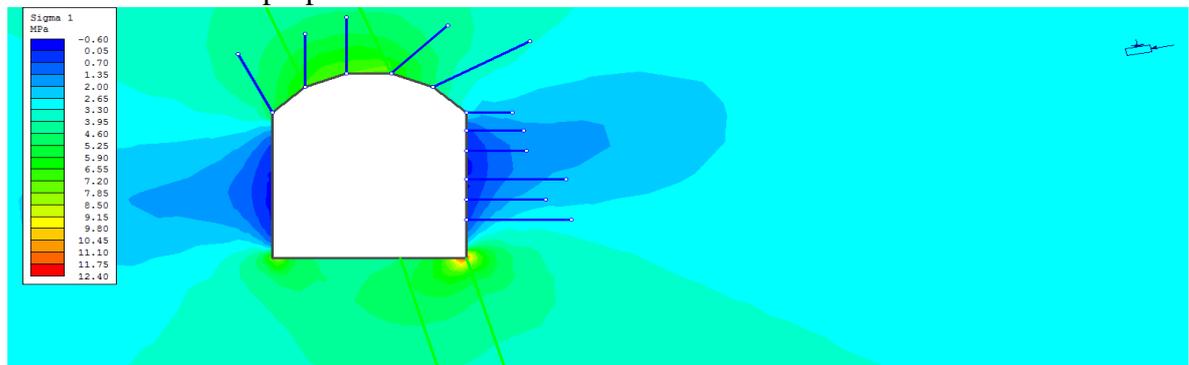


Figura 22. estación geomecánica 04 hastial derecho estado tensional

Fuente: elaboración propia del tesista.

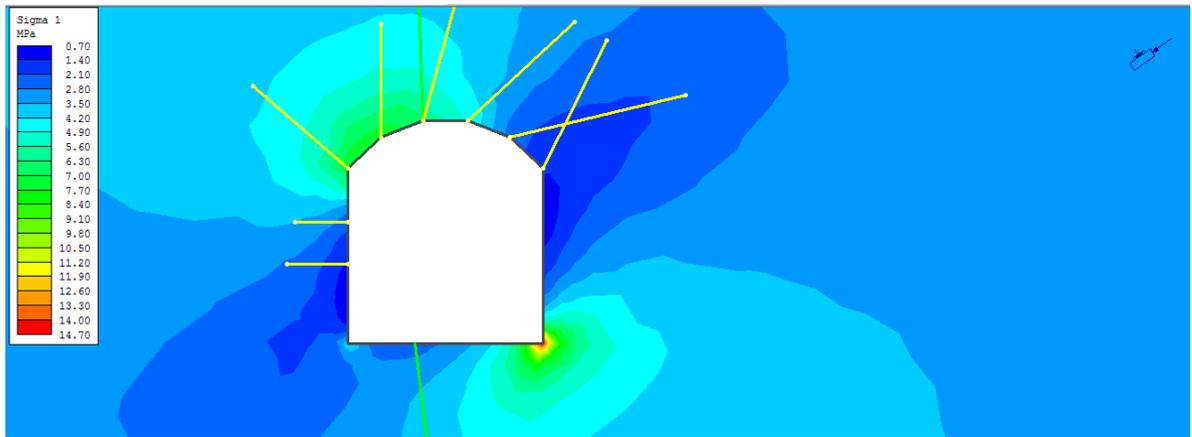


Figura 23. estación geomecánica 05 hastial izquierdo estado tensional

Fuente: elaboración propia del tesista.

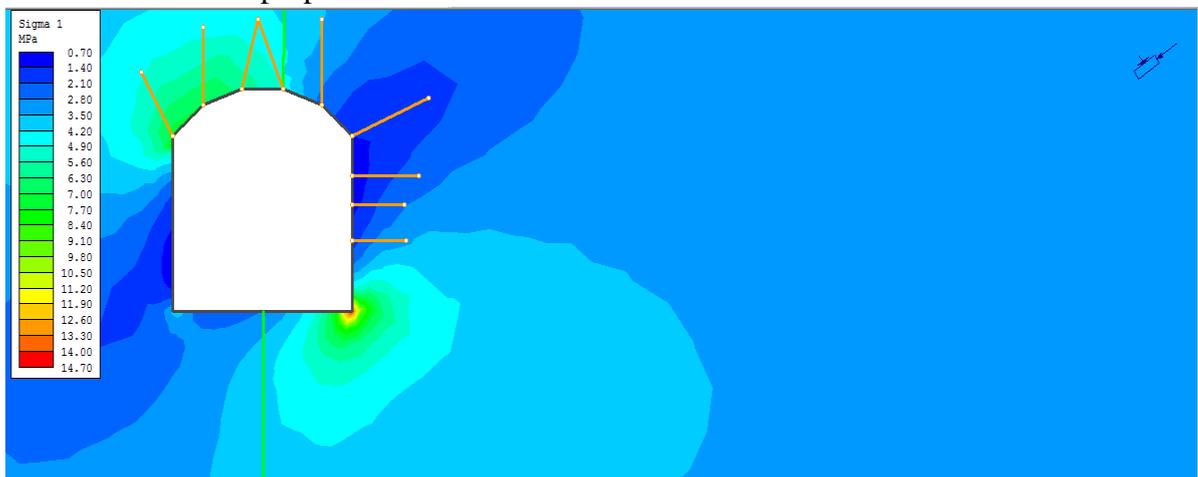


Figura 24. estación geomecánica 05 hastial derecho estado tensional

Fuente: elaboración propia del tesista.

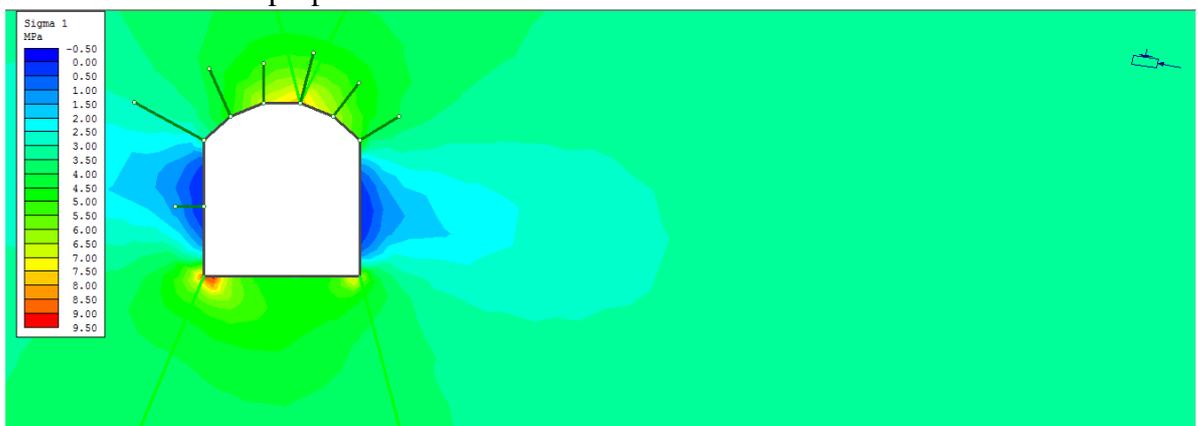


Figura 25. estación geomecánica 06 hastial izquierdo estado tensional

Fuente: elaboración propia del tesista.

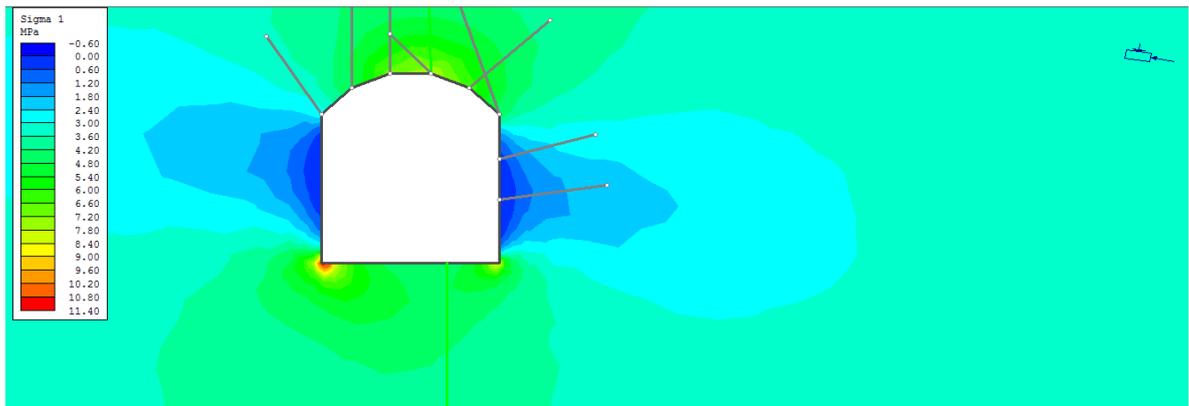


Figura 26. estación geomecánica 06 hastial derecho estado tensional

Fuente: elaboración propia del tesista.

#### 4.7.1.3 Parámetros mecánicos del macizo rocoso

Los parámetros obtenidos del macizo rocoso que tiene el laboratorio de mecánica de rocas de la facultad de ingeniería de minas de la Universidad Nacional del Altiplano – Puno dando los resultados en los siguientes cuadros detallados.

Cuadro 52

#### CONENIDO DE AGUA ROCA PIZARRA

	<b>M-001</b>	<b>M-002</b>	<b>M-003</b>
<b>Peso tara (g)</b>	44.50	45.20	45.30
<b>Peso muestra húmeda + tara (g)</b>	452.70	325.60	640.20
<b>Peso muestra seca + tara (g)</b>	432.60	310.40	612.70
<b>Peso agua (g)</b>	20.10	15.20	27.50
<b>Peso muestra húmeda (g)</b>	408.20	280.40	594.90
<b>Peso muestra seca (g)</b>	388.10	265.20	567.40
<b>w (%)</b>	5.18	5.73	4.85
<b>Promedio</b>	5.25		

Fuente del laboratorio de geotecnia y geomecánica 0128-2013-lms&r-fim-una-puno.

Fecha: 25/11/2013

Cuadro 53

CONENIDO DE AGUA ROCA CUARCITA

	M-001	M-002	M-003
<b>Peso tara (g)</b>	45	47.10	47.50
<b>Peso muestra húmeda + tara (g)</b>	73	84.16	110.80
<b>Peso muestra seca + tara (g)</b>	72.96	84.13	110.79
<b>Peso agua (g)</b>	0.04	0.03	0.01
<b>Peso muestra húmeda (g)</b>	28	37.06	63.30
<b>Peso muestra seca (g)</b>	27.96	37.03	63.29
<b>w (%)</b>	0.14	0.08	0.02
<b>Promedio</b>	0.08		

Fuente del laboratorio de geotecnia y geomecánica-FIM-UNA-PUNO año 2015

4.7.1.4 Análisis de factores de seguridad

El análisis de los factores de seguridad de cada estación geomecánica como el hastial izquierdo, y el hastial derecho obtenidos con el software Unwedge, se muestra a continuación los resultados en las Figuras 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38.



Figura 27. estación geomecánica 01 hastial izquierdo

Fuente: Elaboración propia del tesista.

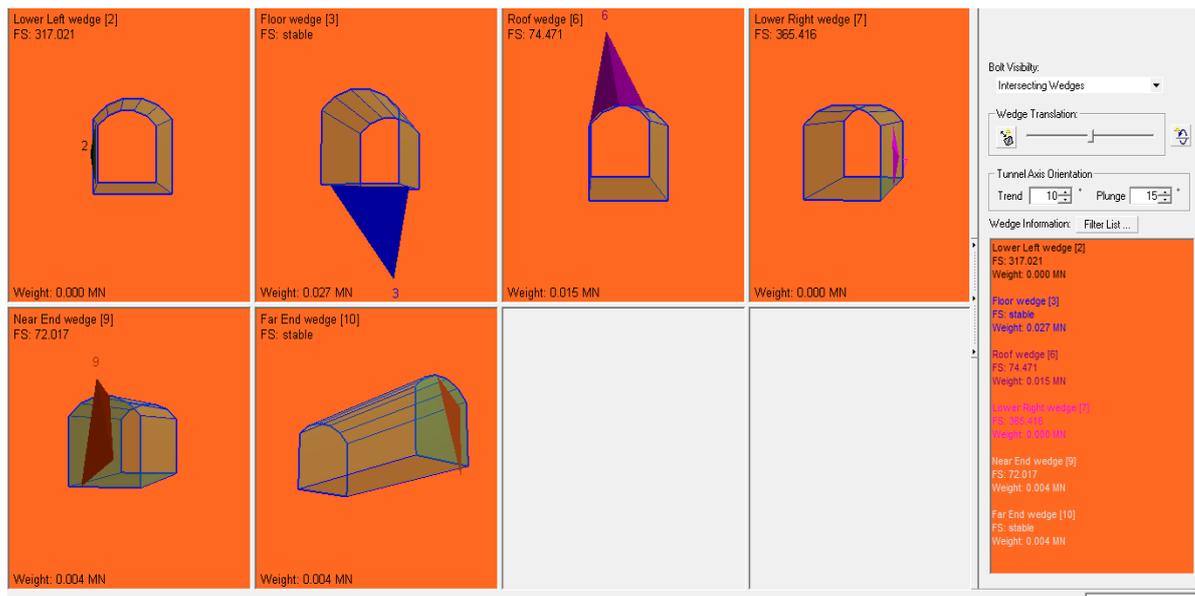


Figura 28. estacion geomecánica 01 hastial derecho

Fuente: Ebaboracion propia del tesista.

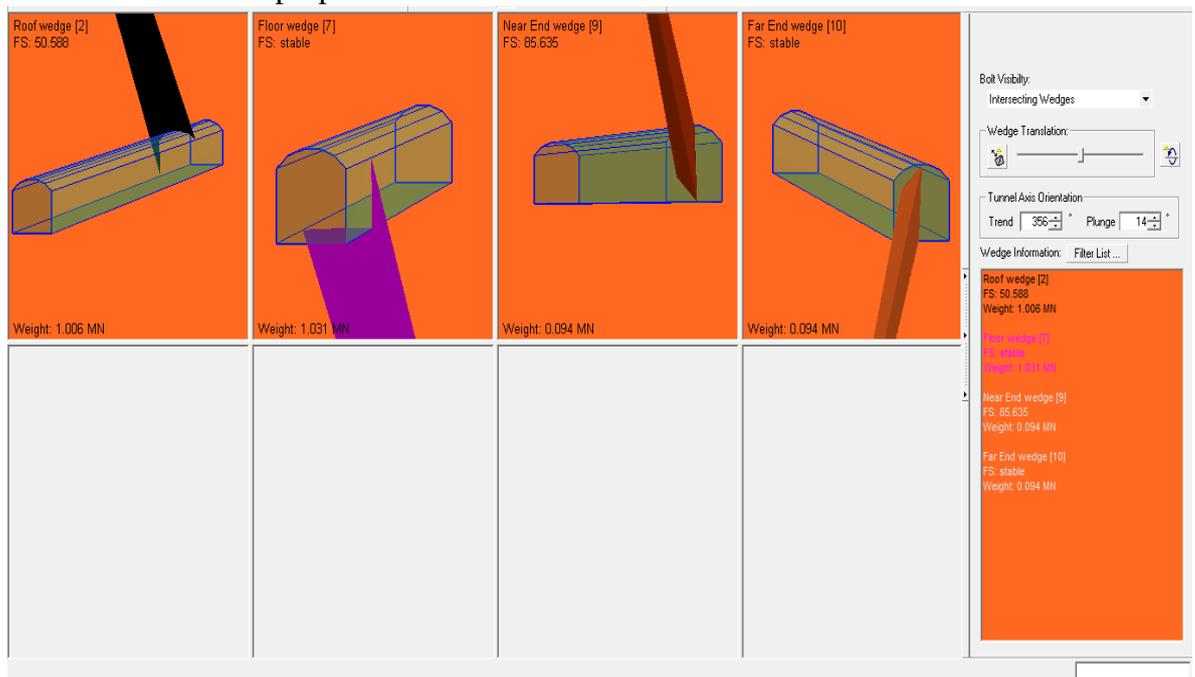


Figura 29. estacion geomecánica 02 hastial izquierdo

Fuente: Ebaboracion propia del tesista.

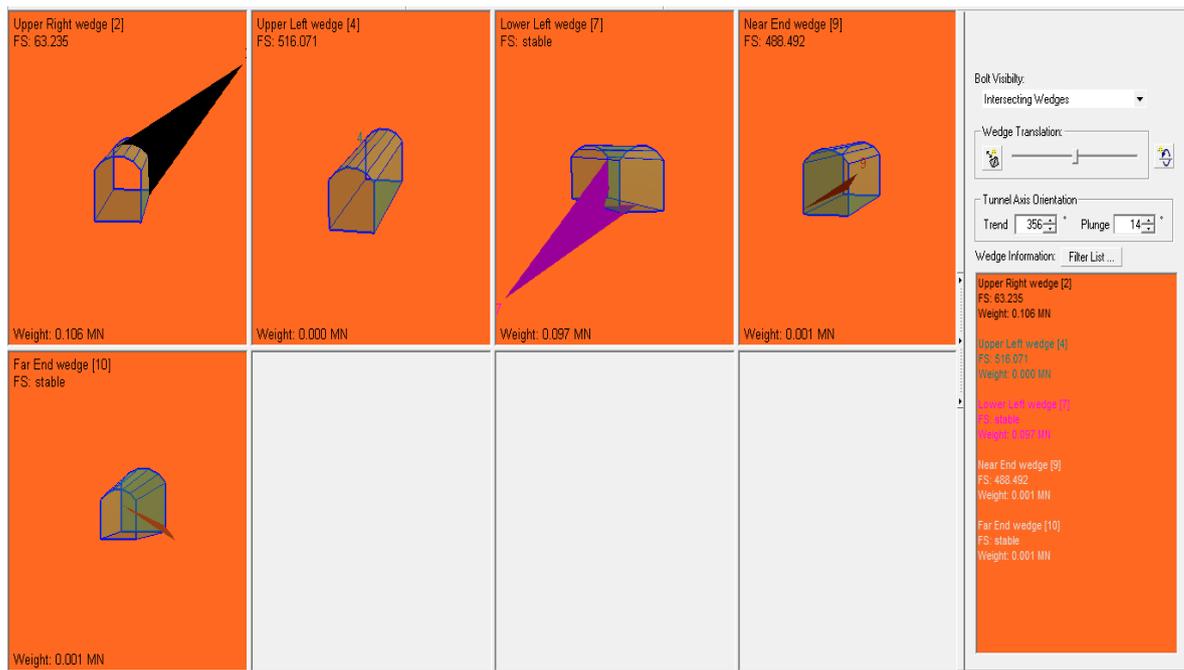


Figura 30. estacion geomecánica 02 hastial derecho

Fuente: Ebaboracion propia del tesista.

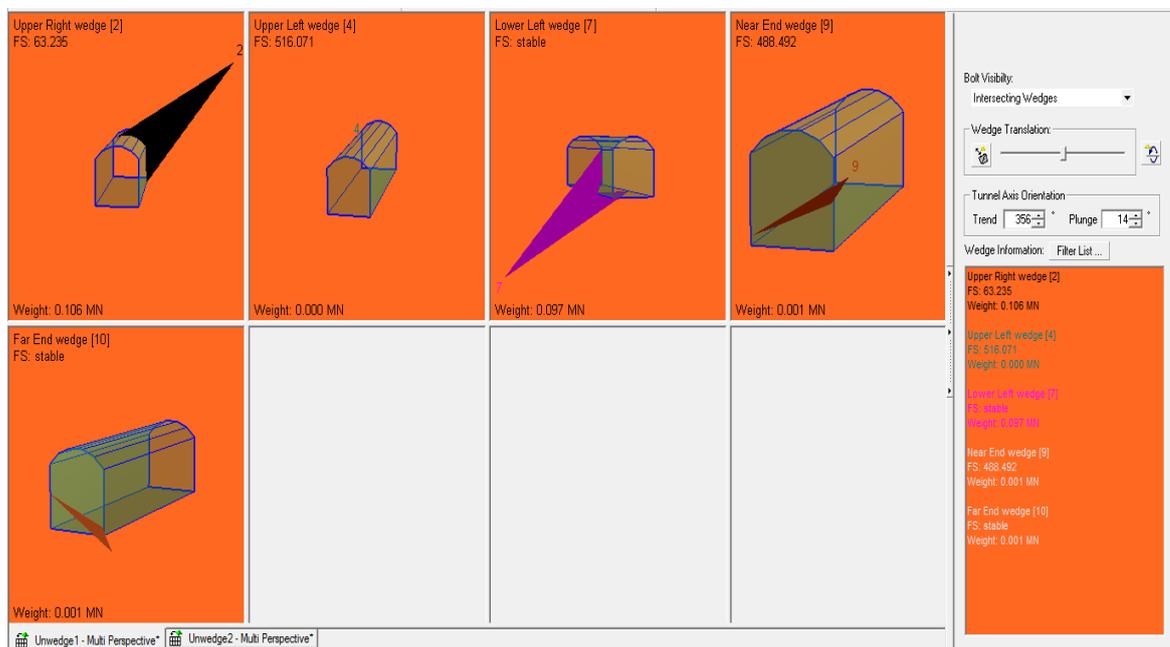


Figura 31. estacion geomecánica 03 hastial izquierdo

Fuente: Ebaboracion propia del tesista.



Figura 32. estacion geomecánica 03 hastial derecho

Fuente: Ebaboracion propia del tesista.

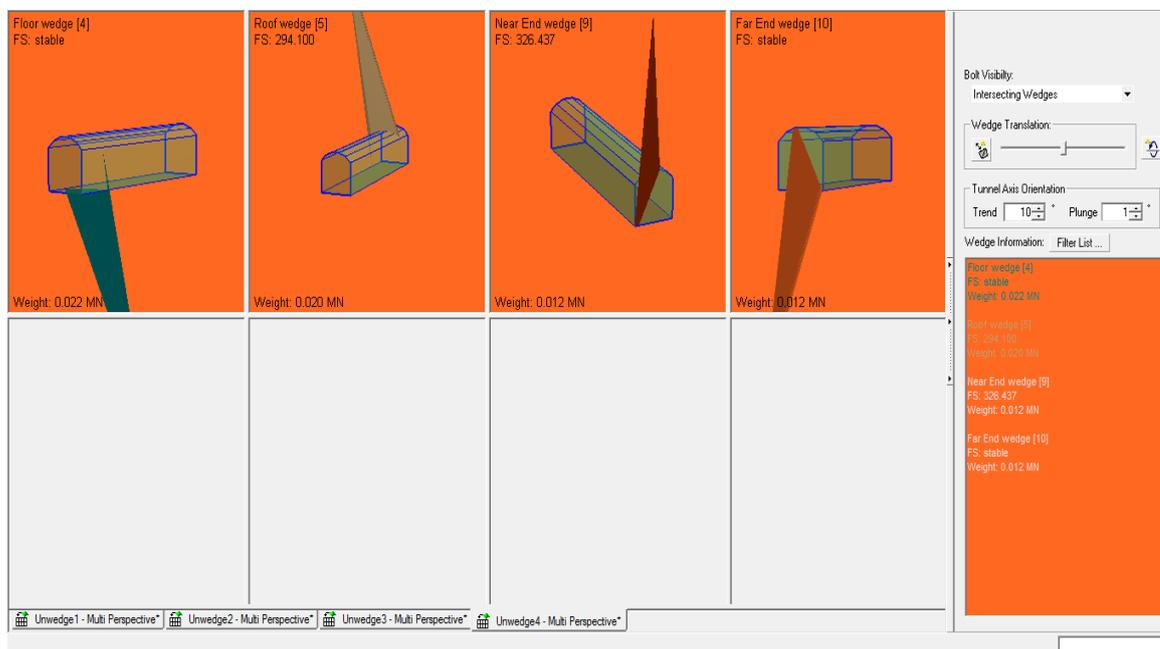


Figura 33. estacion geomecánica 04 hastial izquierdo

Fuente: Ebaboracion propia del tesista.

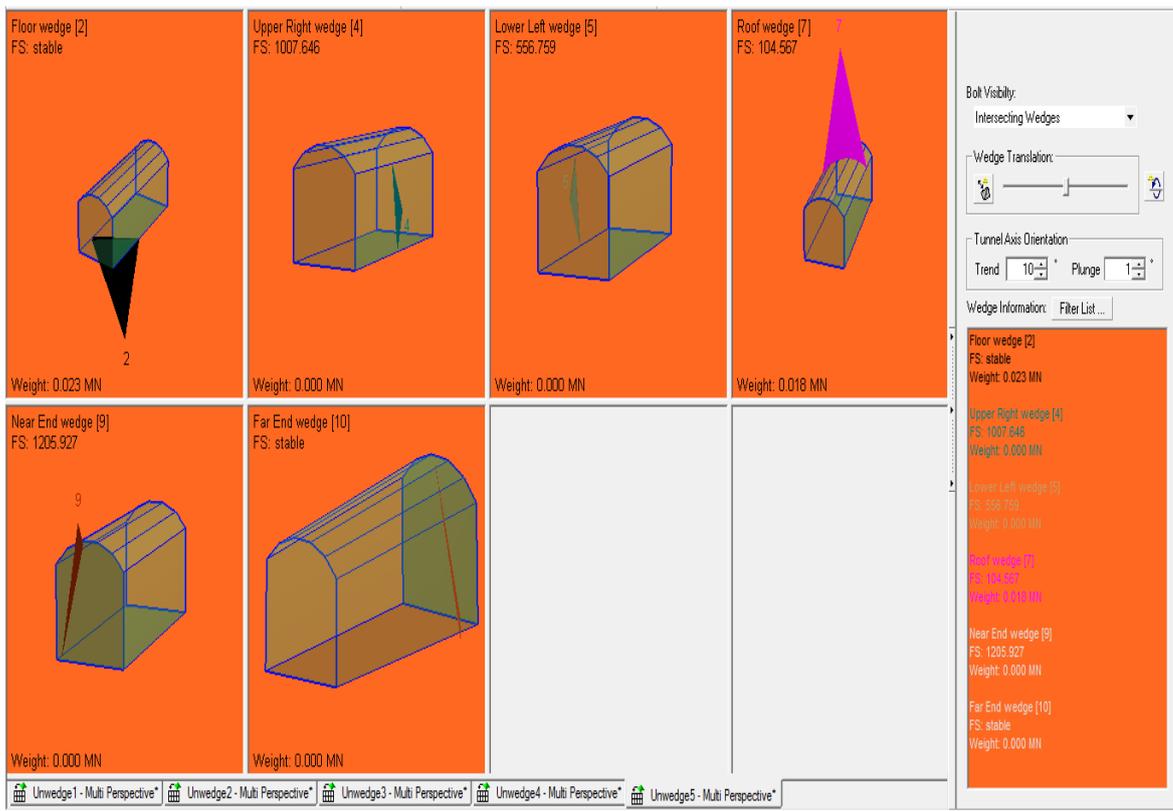


Figura 34. estacion geomecánica 04 hastial derecho

Fuente: Ebaboracion propia del tesista.

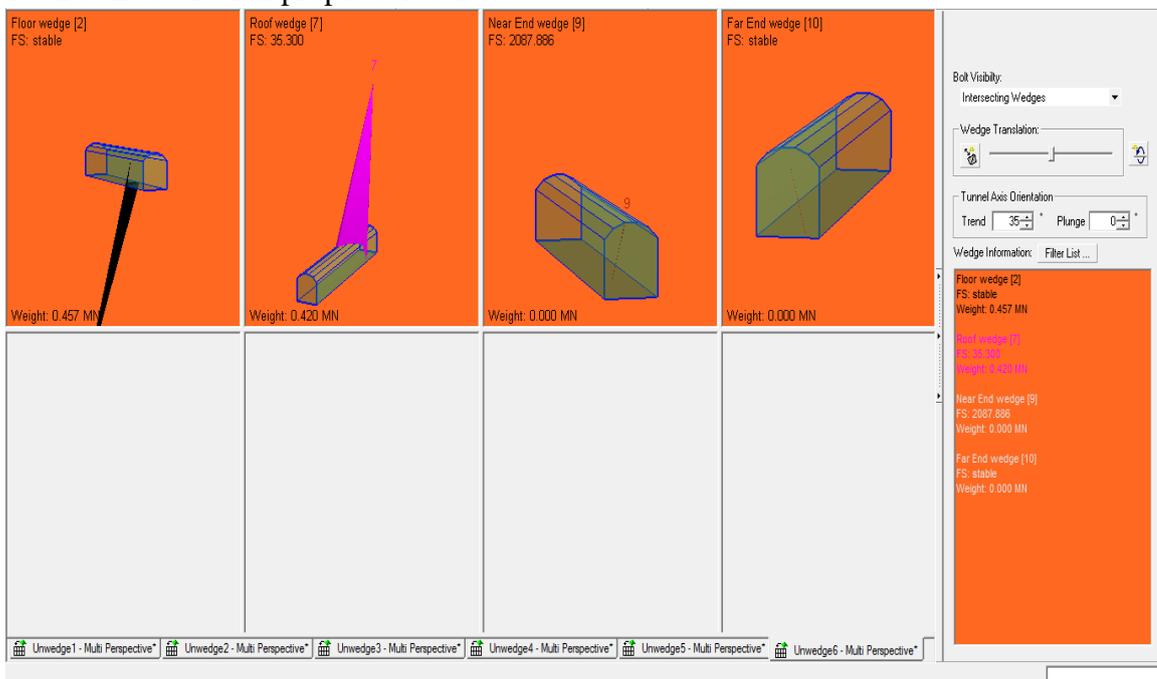


Figura 35. estacion geomecánica 05 hastial izquierdo

Fuente: Ebaboracion propia del tesista.

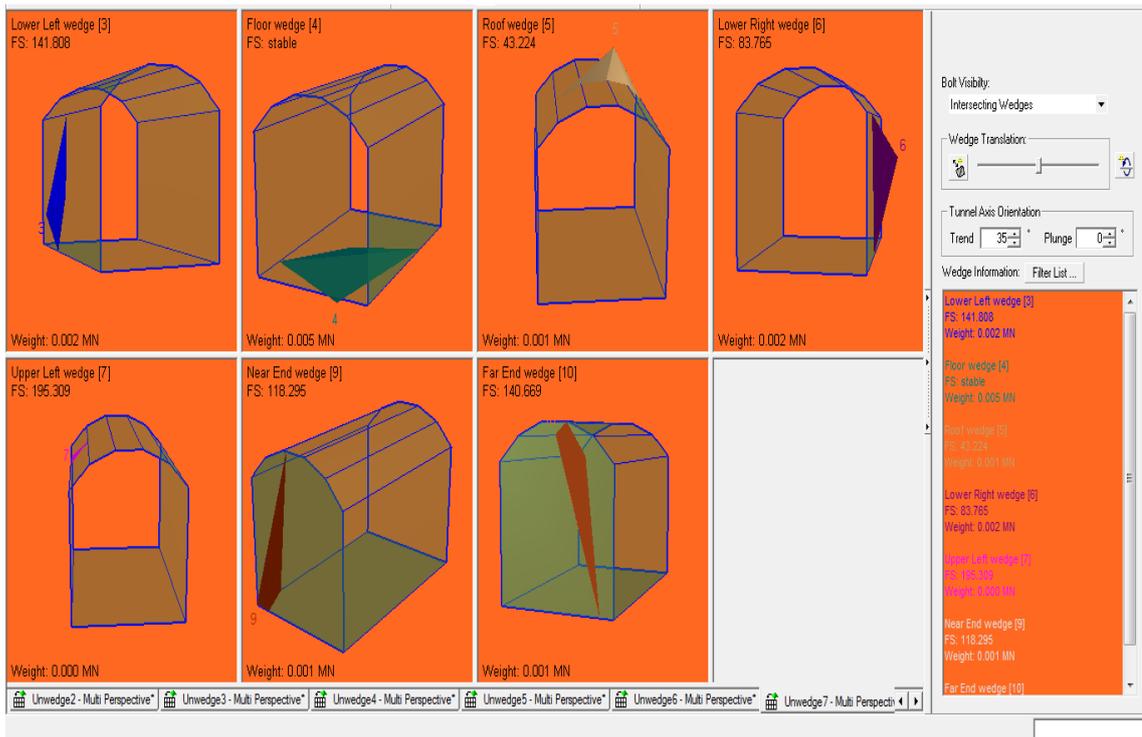


Figura 36. estacion geomecánica 05 hastial derecho

Fuente: Ebaboracion propia del tesista.

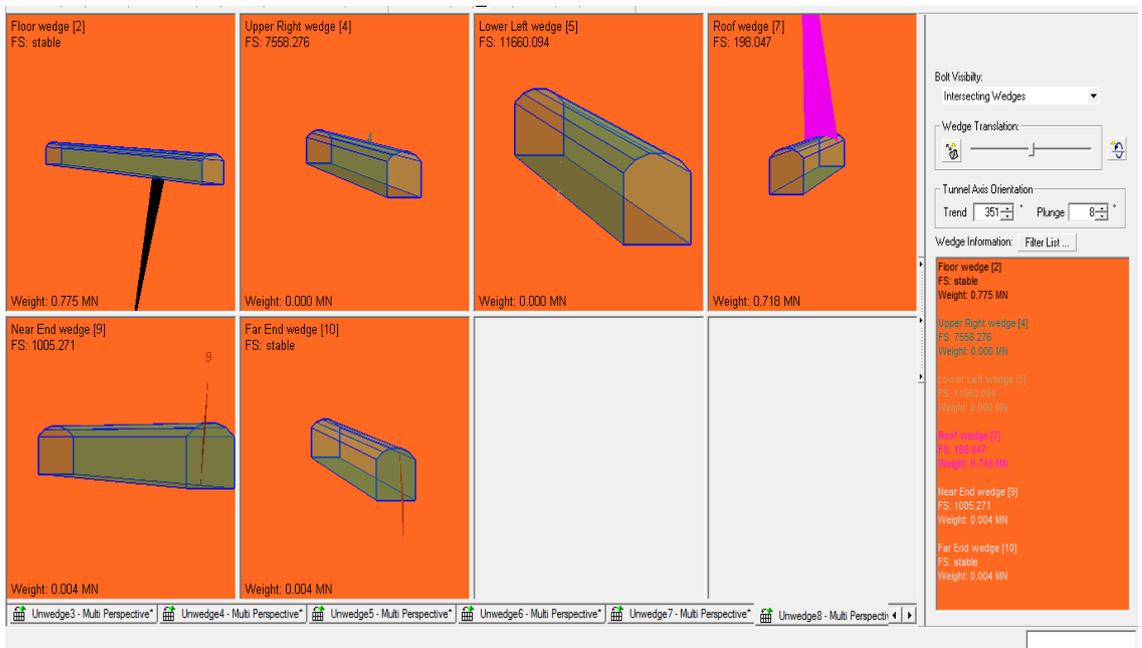


Figura 37. estacion geomecánica 06 hastial izquierdo

Fuente: Ebaboracion propia del tesista.

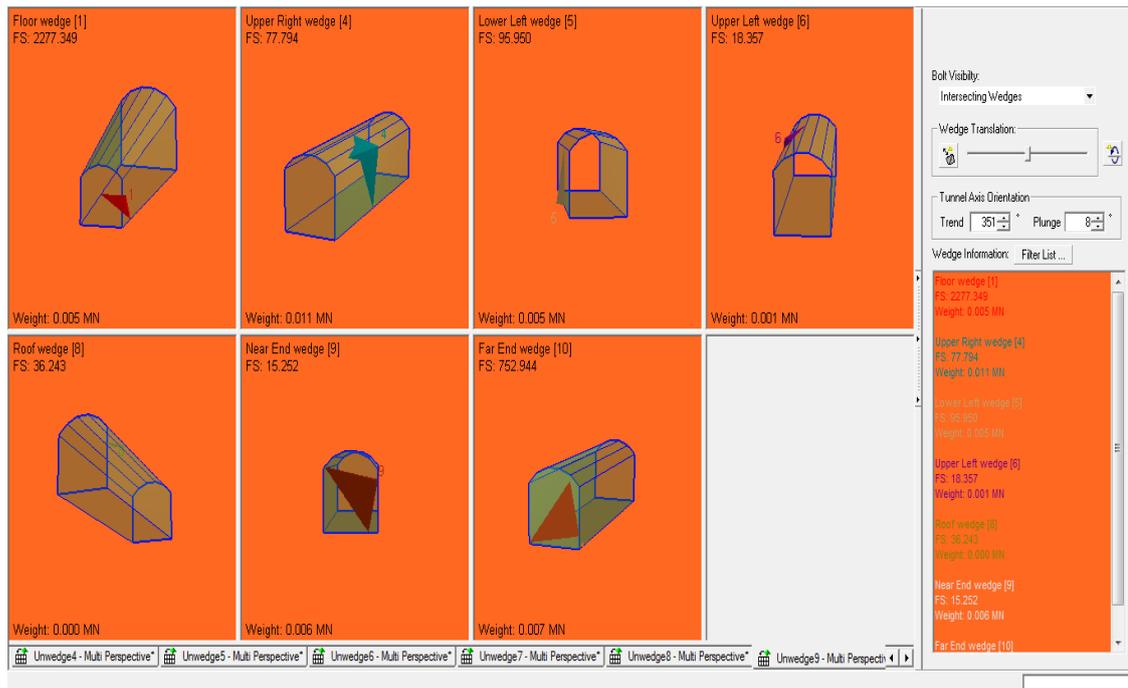


Figura 38. estacion geomecánica 06 hastial derecho

Fuente: Ebaboracion propia del tesista.

#### 4.7.2 parámetro operativo

Flores (2013). Durante la caracterización del macizo rocoso insitu en la excavación de la labor minera son analizados por los parámetros geomecánicos para la selección alternativa que tipo de sostenimiento se empleara para así de esa manera considerar los factores operativos. Es importante que los supervisores tomen recomendaciones de sostenimiento, que conozcan las características de la roca pizarra y cuarcita, no solo las características geomecánicas de la labor, sino que deben asociar la operatividad minera. Dentro de los parámetros operativos de estudio, se tienen:

##### 4.7.2.1 Tiempo de exposición del proyecto

El tiempo de exposición del proyecto data desde hace 19 años información proporcionado por el operador minero dueño da la labor minera, inicios de trabajo de desarrollo para operaciones mina, los sostenimientos son con cuadros de madera,

garantizado la no eficiencia del sostenimiento en esta zona, se aplicara sostenimiento con pernos de anclaje en dichos dominios geotécnicos elaborado por el presente trabajo de investigación, la preparación se observa en las siguientes Figuras 39, 40, 41.

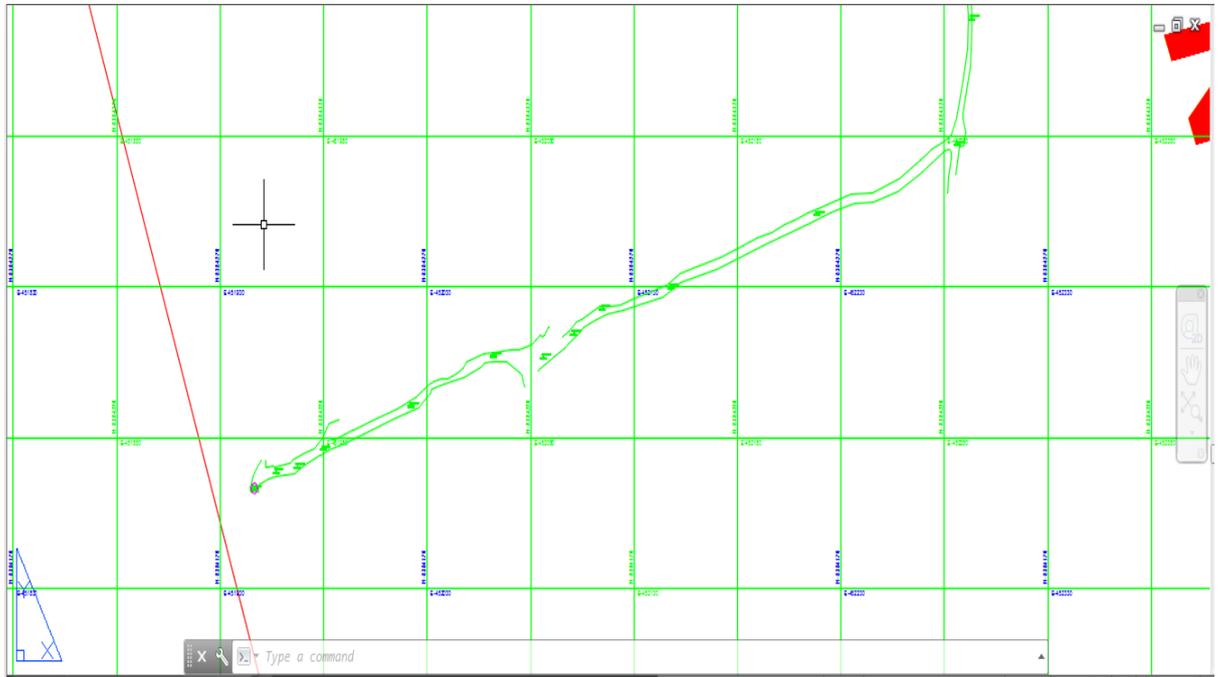


Figura 39. Proyecto de preparacion desarrollo de la contrata minera Maurinho  
Fuente: Elaboracion propia del tesista.

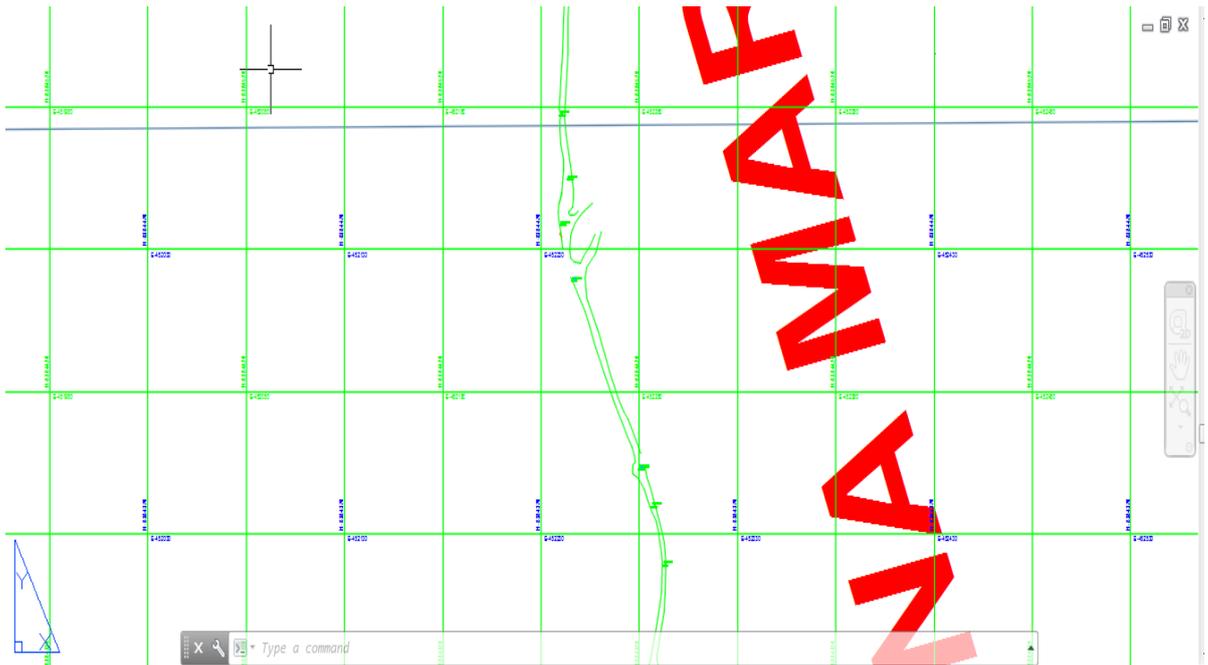


Figura 40. Proyecto de preparacion desarrollo de la contrata minera MaurinhoFuente: Elaboracion propia del tesista.

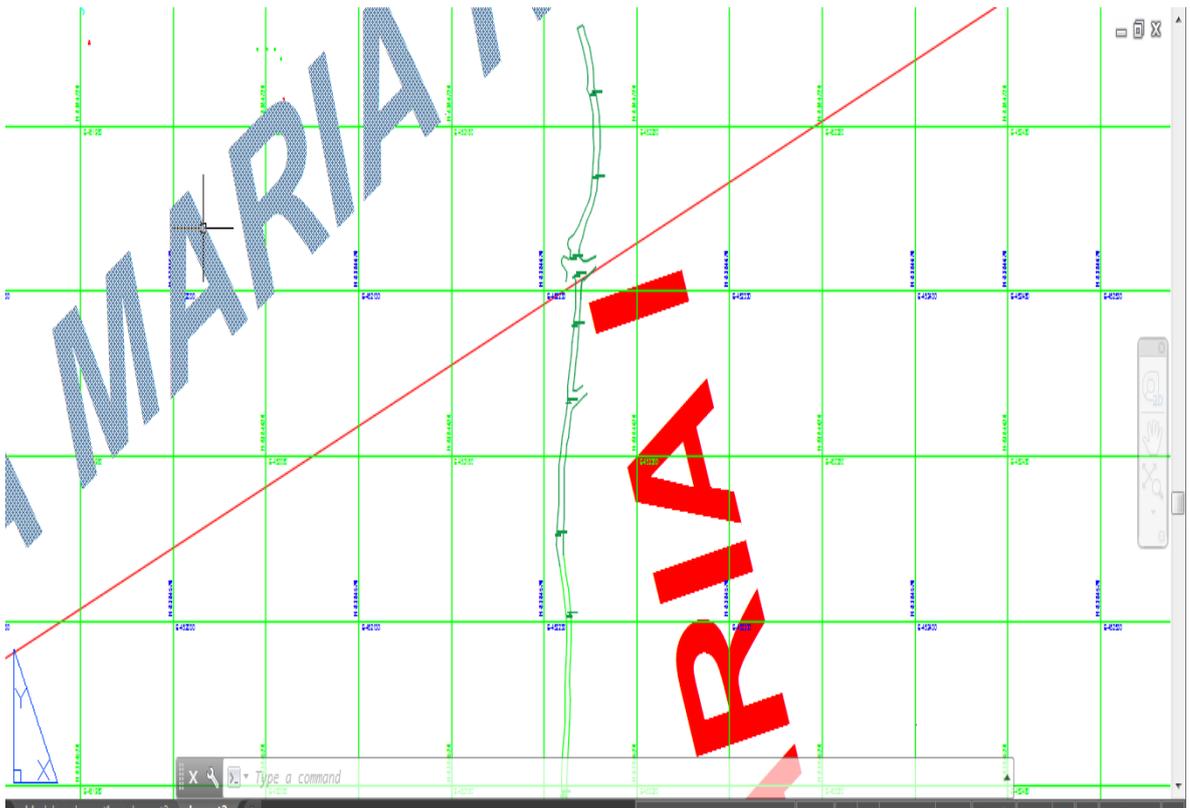


Figura 41. Proyecto de preparacion desarrollo de la contrata minera Maurinho Fuente: Elaboracion propia del tesista.



#### 4.7.2.2 Capacidad del proyecto

La capacidad del proyecto estará en función a la distancia de extracción por el tonelaje diario, equipos a utilizar en la extracción del material y equipos a utilizar en la preparación del mismo, para lo cual se utilizan los siguientes equipos:

##### Equipos de Extracción

- Teletranes Maquinaria Pesada de bajo perfil de 4.5 TM
- 01 Camión de bajo perfil Hyundai 1 TM

##### Equipos de Preparación

- 01 Equipos de perforación Tipo Jack – leg RNP 250
- 01 Compresora eléctrica capacidad de 02 martillos Atlas G46
- 08 Unidades De tubería de aire 100m
- 08 Unidades De tubería de Agua de 100m
- 02 Ventiladoras Axial de 35 HP
- 08 Unidades De polietileno de Ventilación Manga de 100m

#### 4.7.2.3 Dimensionamiento

El dimensionamiento del proyecto estará vinculado al análisis de aberturas expuestas susceptibles inestabilidad, En esta etapa, el dimensionamiento abierto de la excavación, ver Figura 42 Tomará el papel clave en la elección de las alternativas de soporte a proponer; ya que conjugara factores externos más complejos cuando más grande sea la excavación. La determinación del soporte, estará vinculada al dimensionamiento de los elementos de sostenimiento a proponer, así como los equipamientos anexos que serán destinados para la aplicación del soporte. Se debe visualizar la capacidad de equipo que cuenta la Contrata Minera Maurinho, para la aplicabilidad de los elementos de soporte propuestos.

Fuente: Wilberth C. Lope pag. 128

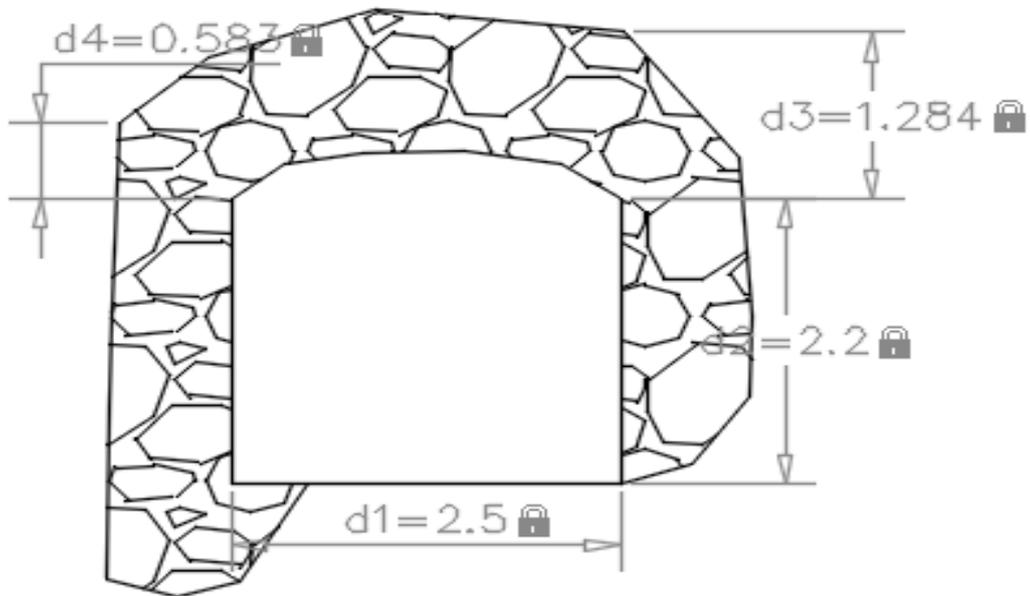


Figura 42. Dimensionamiento transversal del Proyecto de desarrollo de la Contrata Minera Maurinho. Fuente: Elaboración propia del tesista.



#### 4.7.2.4 Tipo de Perno de anclaje.

El sostenimiento requerido según el índice Q de Barton es la aplicación de pernos de forma sistemática. Se aprecia la presencia de agua en todas las estaciones geomecánicas. Se tiene los diferentes tipos de pernos usados en Perú presentado por la Sociedad Nacional de Minería Petróleo y Energía (2004) según las características de la zona evaluada la presencia de agua nos llevaría a escoger el perno Helicoidal con resina por su protección de la resina a la corrosión del perno en presencia de agua. También se toma como referencia el artículo de Paredez Giraldo (2011), donde hace una comparación de la capacidad de anclaje, tiempo de instalación, tiempo de actuación y costos de los pernos de roca más utilizados en el Perú, donde se estudiaron diferentes pernos como Split Set, Barras Helicoidales, Split Set y Swellex, que de las 51 pruebas realizadas entre los diferentes pernos concluye que el perno Split Set es el mejor en costo, capacidad, tiempo de instalación y tiempo de actuación. Por cuestiones de costos en donde “el perno de más bajo costo por  $m^2$  sostenido, es el Split Set (14,757USD $m^2$ ) y el de más alto costo es la Barra Helicoidal instalado con cartuchos de resina (50,67 \$/ $m^2$ ), de acuerdo a las condiciones y realidades encontradas en la mina Reliquias.” (Paredez Giraldo, 2011, p. 13) es que se opta por el perno Split Set, en la cual sus últimas versiones vienen de acero inoxidable y/o galvanizadas, con lo que no afectaría la presencia de agua en el macizo rocoso. Se asume que el perno Split Set es galvanizado. La desventaja de optar por el perno Split Set es que solo vienen en medidas estándares y en Perú se tiene de 5 pies y 10 pies,

Por esta razón es que se optó el perno Split Set de 6 pies de longitud cuya capacidad es de 16 toneladas.



### SPLIT SET

Considerando que la longitud a apernar es de en la estación 04 de los hastiales izquierdo y derecho tramo 10m y el ancho 3m.

$$N^{\circ} \text{ de pernos} = 30 \text{ m}^2 * 1.62 \frac{1}{\text{m}^2} \quad n^{\circ} \text{ de pernos} = 48.6 \text{ pernos}$$

### SPLIT SET

Costo perno = 14.757USD

Costo planchuela = 1.35USD

Costo tuerca = 0.7USD

Costo perforación hora (aire comprimido) = 13.63USD

COSTO TOTAL = 48.6\*(14.757 + 1.35 + 0.7 + 13.63) USD

COSTO TOTAL = 1479.24 USD requiere la estación número 04 del hastial izquierdo y derecho.

### SPLIT SET

COSTO DEL SPLIT SET

LONGITUD (pies)	COSTO (USD)
4	11.475
5	12.892
6	14.757
7	16.475
8	19.102

### SPLIT SET

CONCIDERANDO LAS CARACTERISTICAS DEL PERNO

CAPACIDAD DEL PERNO =  $50 \frac{KN}{m}$

Paredes Giraldo, 2011, p. 13

### 4.7.3. Diseño de sostenimiento por refuerzo (Q)

Los resultados obtenidos de Q, nos da como referencia un Abaco con el cual podemos correlacionar el tipo de sostenimiento a utilizar, como se demuestra en las Figuras 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54.

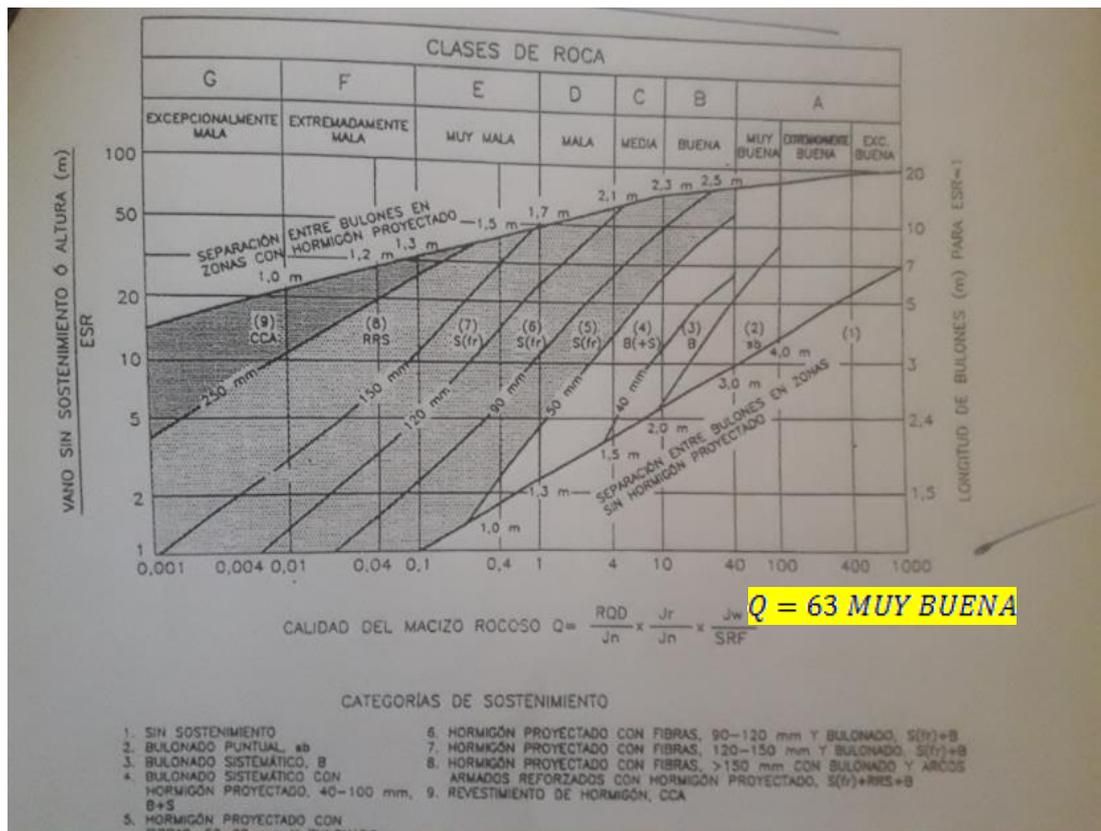


Figura 43. Diseño del sostenimiento en la estación N° 1 hastial izquierdo.

Fuente: Barton, N.R., Lien, R. and Lunde, J. (1974). Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support. Rock Mech. 6(4), 189-239

La estación geomecánica 01 del hastial izquierdo tiene un tramo de 10 metros respectivamente, a cada metro se hizo trabajo de campo mediante los formatos de (Bhawani y R. K. p. 96) aplicando el martillo smith, caracterización de macizos, RMR89 tramo se da el tipo de diseño para cada estación geomecánica tanto como el hastial izquierdo y derecho.

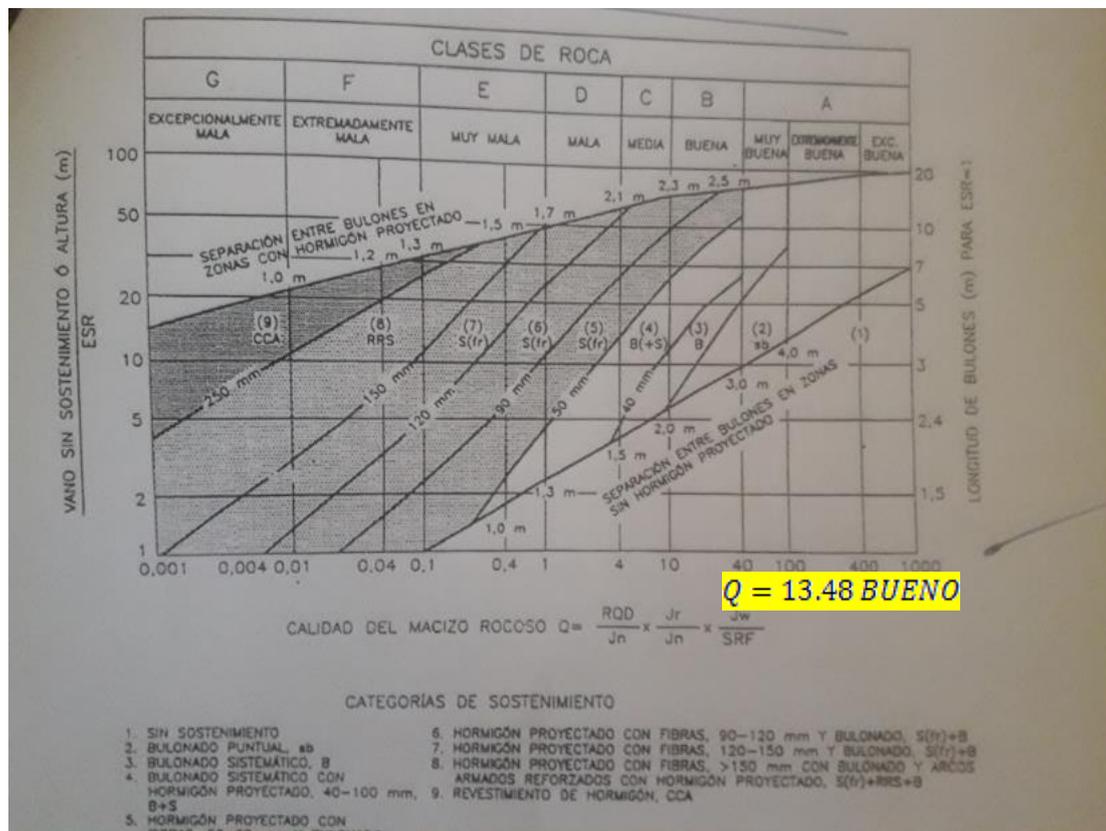


Figura 44. Diseño del sostenimiento en la estación N° 1 hastial derecho.

Fuente: Barton, N.R., Lien, R. and Lunde, J. (1974). Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support. Rock Mech. 6(4), 189-239.

La estación geomecánica 01 del hastial derecho tiene un tramo de 10 metros respectivamente, a cada metro se hizo trabajo de campo mediante los formatos de (Bhawani y R. K. p. 96) aplicando el martillo smith, caracterización de macizos, RMR89 tramo se da el tipo de diseño para cada estación geomecánica tanto como el hastial izquierdo y derecho.

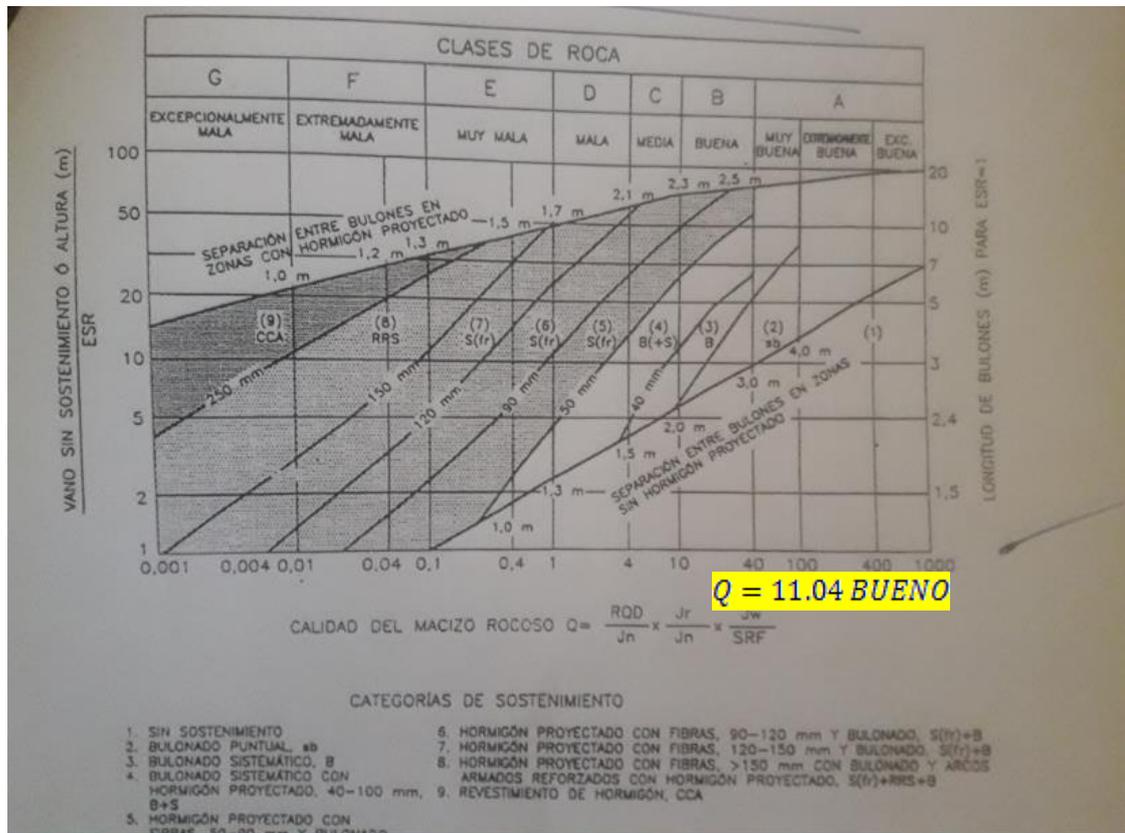


Figura 45. Diseño del sostenimiento en la estación N° 2 hastial izquierdo.

Fuente: Barton, N.R., Lien, R. and Lunde, J. (1974). Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support. Rock Mech. 6(4), 189-239.

La estación geomecánica 02 del hastial izquierdo tiene un tramo de 10 metros respectivamente, a cada metro se hizo trabajo de campo mediante los formatos de (Bhawani y R. K. p. 96) aplicando el martillo smith, caracterización de macizos, RMR<sub>89</sub> tramo se da el tipo de diseño para cada estación geomecánica tanto como el hastial izquierdo y derecho.

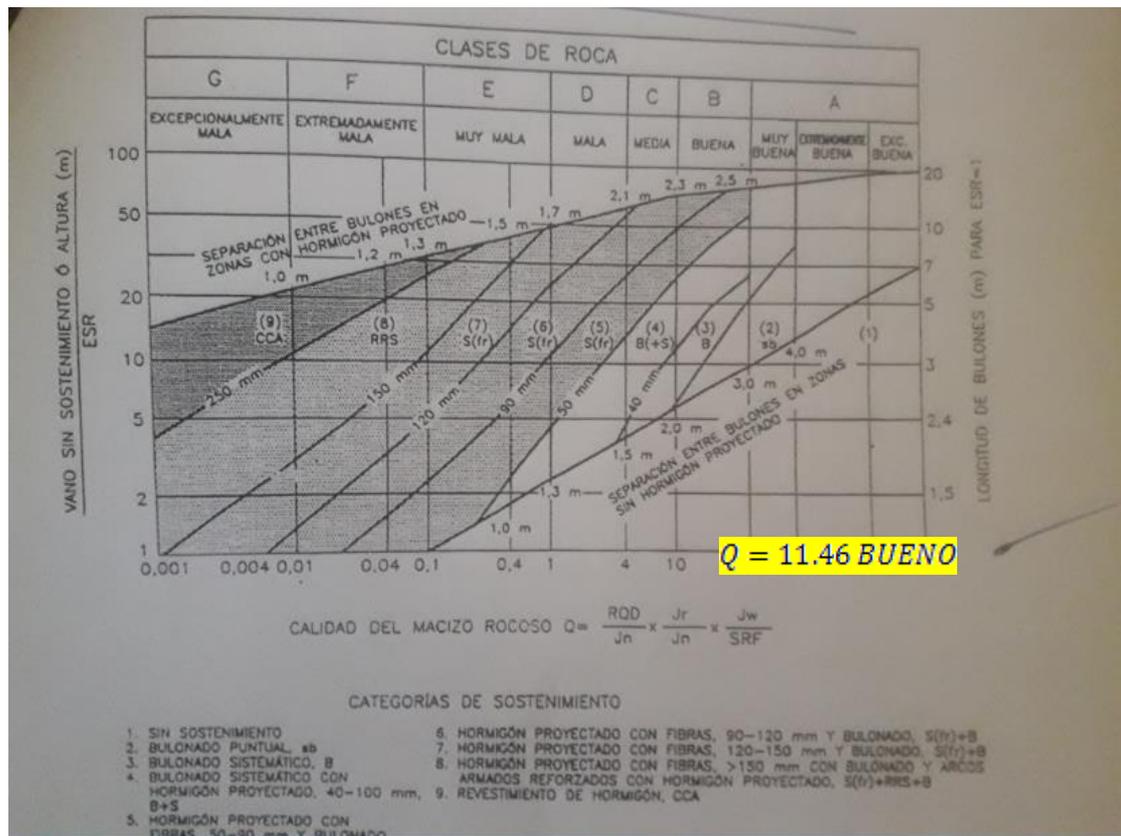


Figura 46. Diseño del sostenimiento en la estación N° 2 hastial derecho.

Fuente: Barton, N.R., Lien, R. and Lunde, J. (1974). Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support. *Rock Mech.* 6(4), 189-239.

La estación geomecánica 02 del hastial derecho tiene un tramo de 10 metros respectivamente, a cada metro se hizo trabajo de campo mediante los formatos de (Bhawani y R. K. p. 96) aplicando el martillo smith, caracterización de macizos, RMR<sup>89</sup> tramo se da el tipo de diseño para cada estación geomecánica tanto como el hastial izquierdo y derecho.

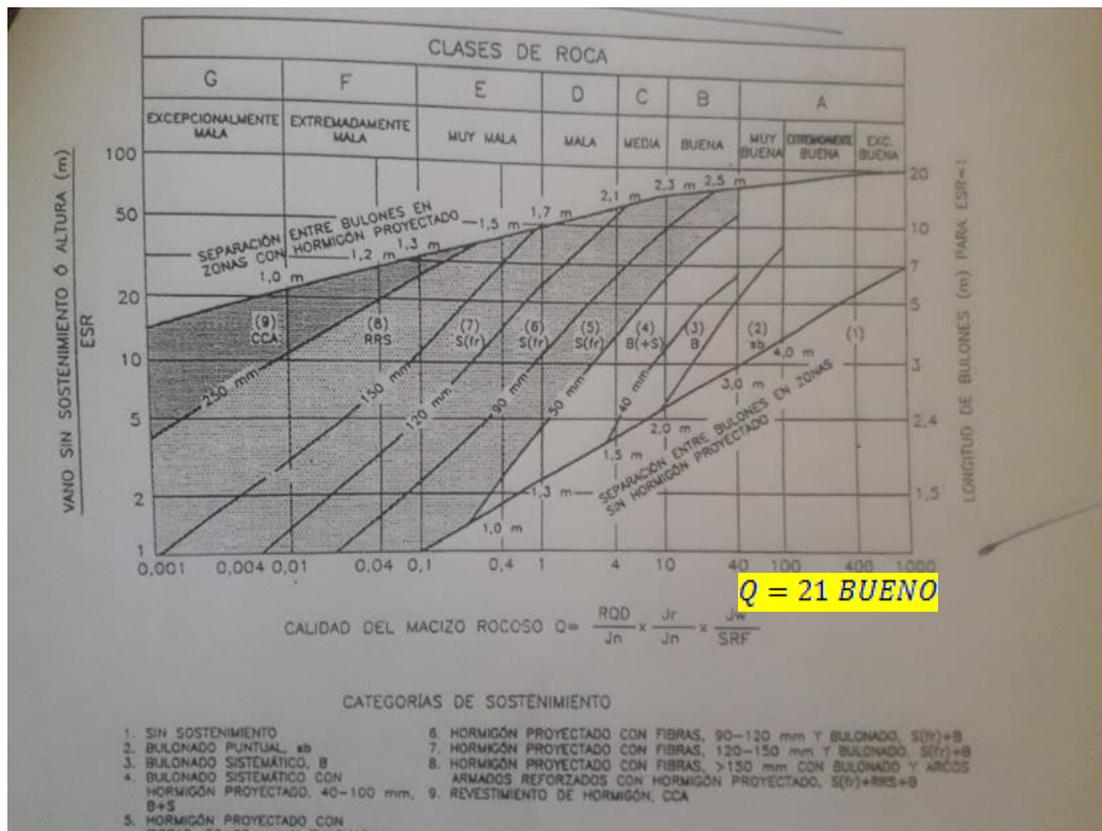


Figura 47. Diseño del sostenimiento en la estación N° 3 hastial izquierdo.

Fuente: Barton, N.R., Lien, R. and Lunde, J. (1974). Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support. *Rock Mech.* 6(4), 189-239.

La estación geomecánica 03 del hastial izquierdo tiene un tramo de 10 metros respectivamente, a cada metro se hizo trabajo de campo mediante los formatos de (Bhawani y R. K. p. 96) aplicando el martillo smith, caracterización de macizos, RMR89 tramo se da el tipo de diseño para cada estación geomecánica tanto como el hastial izquierdo y derecho.

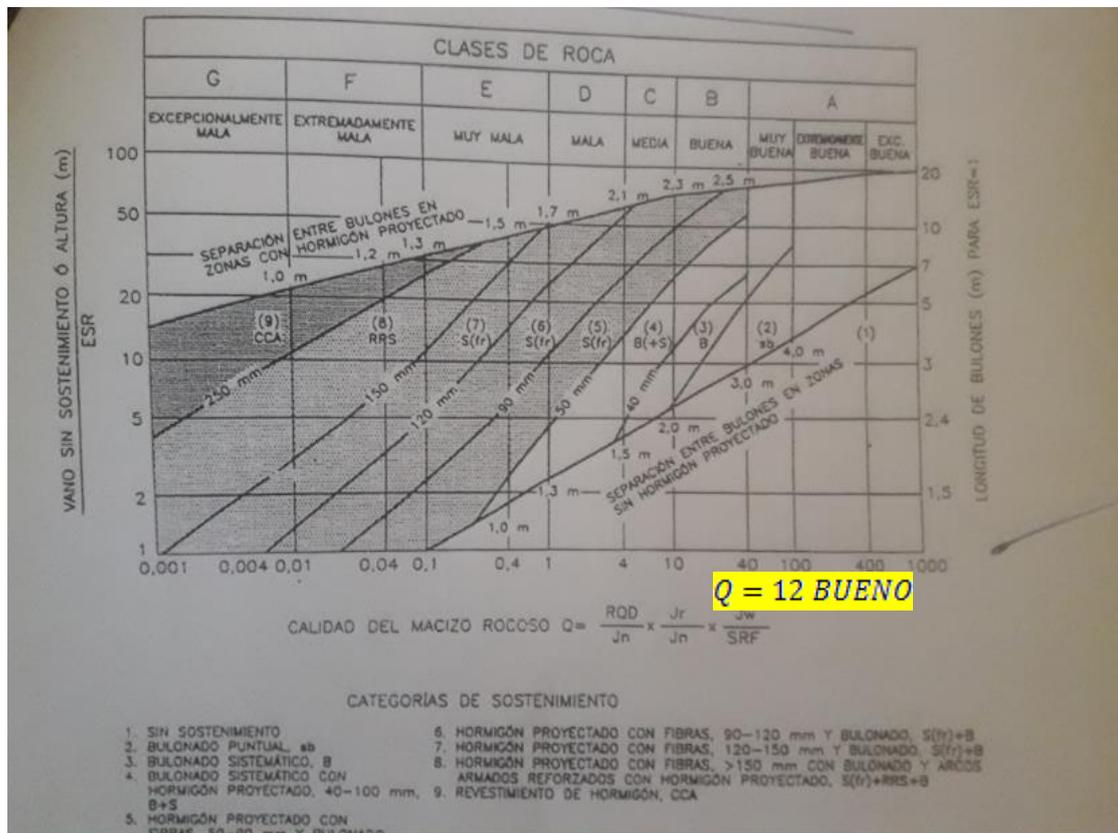


Figura 48. Diseño del sostenimiento en la estación N° 3 hastial derecho.

Fuente: Barton, N.R., Lien, R. and Lunde, J. (1974). Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support. Rock Mech. 6(4), 189-239.

La estación geomecánica 03 del hastial derecho tiene un tramo de 10 metros respectivamente, a cada metro se hizo trabajo de campo mediante los formatos de (Bhawani y R. K. p. 96) aplicando el martillo smith, caracterización de macizos, RMR<sub>89</sub> tramo se da el tipo de diseño para cada estación geomecánica tanto como el hastial izquierdo y derecho.

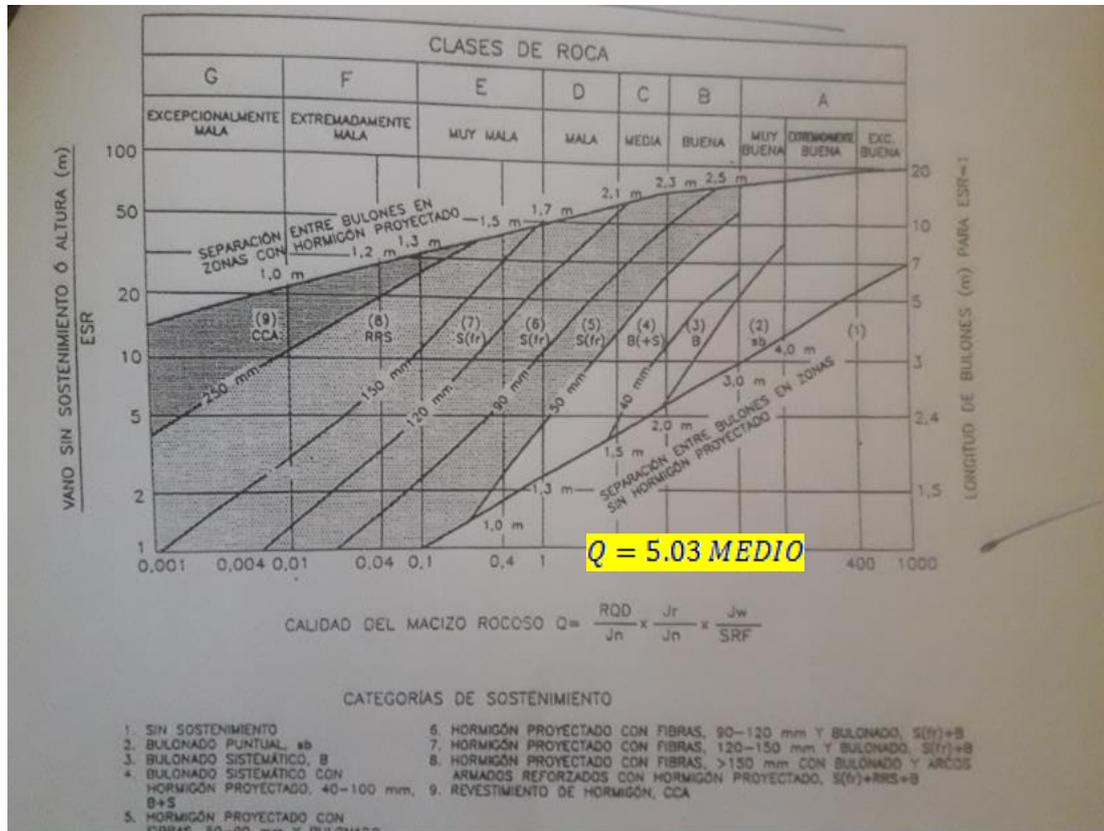


Figura 49. Diseño del sostenimiento en la estación N° 4 hastial izquierdo.

Fuente: Barton, N.R., Lien, R. and Lunde, J. (1974). Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support. Rock Mech. 6(4), 189-239.

La estación geomecánica 04 del hastial izquierdo tiene un tramo de 10 metros respectivamente, a cada metro se hizo trabajo de campo mediante los formatos de (Bhawani y R. K. p. 96) aplicando el martillo smith, caracterización de macizos, RMR<sub>89</sub> tramo se da el tipo de diseño para cada estación geomecánica tanto como el hastial izquierdo y derecho.

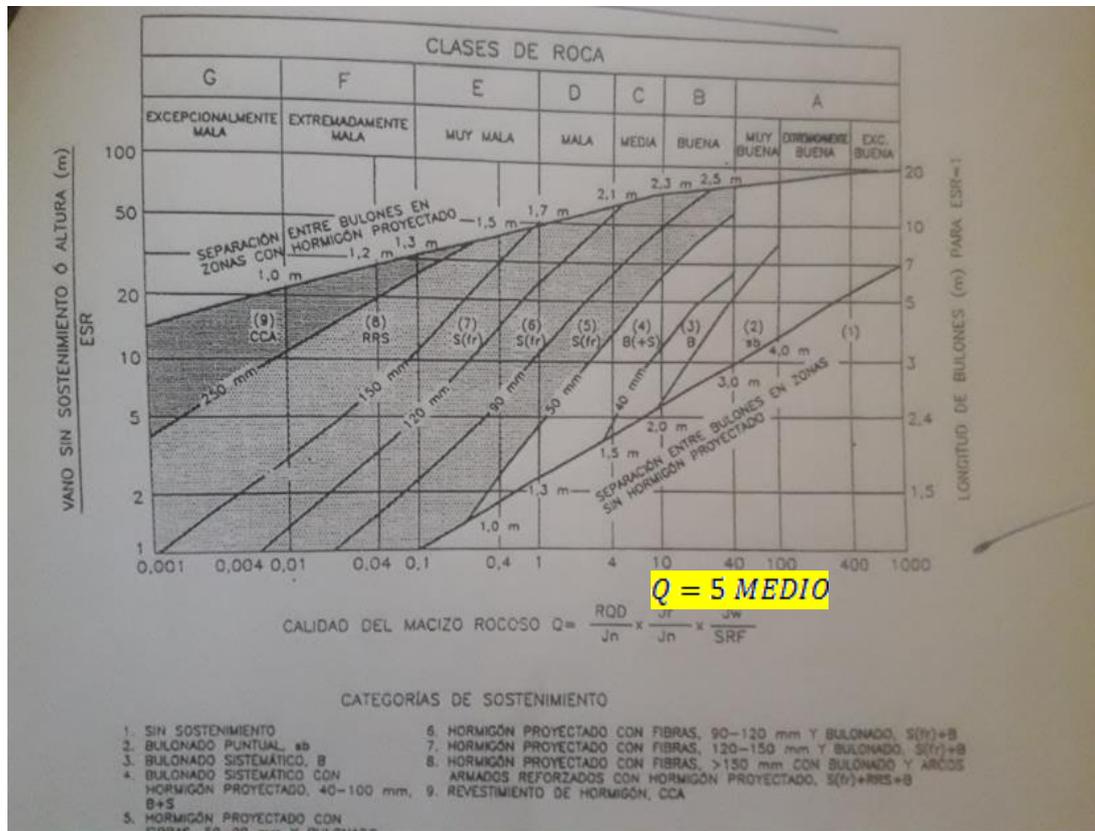


Figura 50. Diseño del sostenimiento en la estación N° 4 hastial derecho.

Fuente: Barton, N.R., Lien, R. and Lunde, J. (1974). Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support. *Rock Mech.* 6(4), 189-239.

La estación geomecánica 04 del hastial derecho tiene un tramo de 10 metros respectivamente, a cada metro se hizo trabajo de campo mediante los formatos de (Bhawani y R. K. p. 96) aplicando el martillo smith, caracterización de macizos, RMR<sub>89</sub> tramo se da el tipo de diseño para cada estación geomecánica tanto como el hastial izquierdo y derecho.

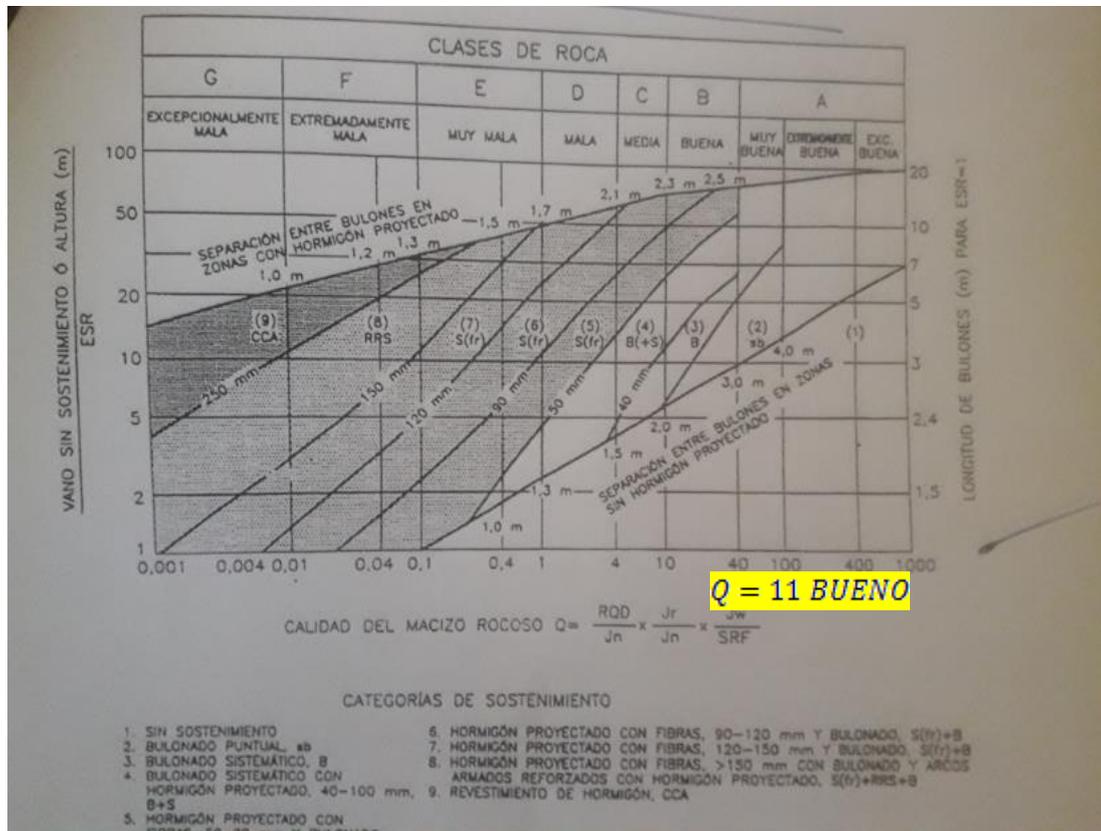


Figura 51. Diseño del sostenimiento en la estación N° 5 hastial izquierdo.

Fuente: Barton, N.R., Lien, R. and Lunde, J. (1974). Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support. Rock Mech. 6(4), 189-239.

La estación geomecánica 05 del hastial izquierdo tiene un tramo de 10 metros respectivamente, a cada metro se hizo trabajo de campo mediante los formatos de (Bhawani y R. K. p. 96) aplicando el martillo smith, caracterización de macizos, RMR<sup>89</sup> tramo se da el tipo de diseño para cada estación geomecánica tanto como el hastial izquierdo y derecho.

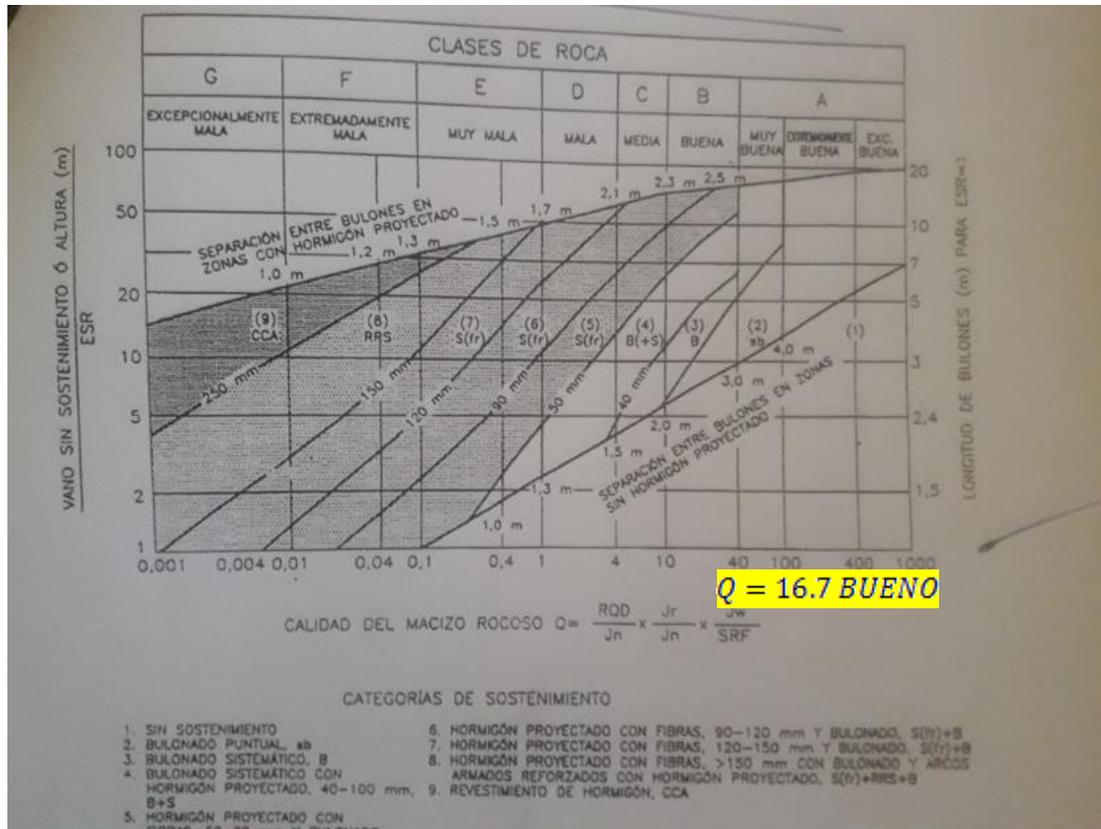


Figura 52. Diseño del sostenimiento en la estación N° 5 hastial derecho.

Fuente: Barton, N.R., Lien, R. and Lunde, J. (1974). Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support. *Rock Mech.* 6(4), 189-239.

La estación geomecánica 05 del hastial derecho tiene un tramo de 10 metros respectivamente, a cada metro se hizo trabajo de campo mediante los formatos de (Bhawani y R. K. p. 96) aplicando el martillo smith, caracterización de macizos, RMR<sub>89</sub> tramo se da el tipo de diseño para cada estación geomecánica tanto como el hastial izquierdo y derecho.

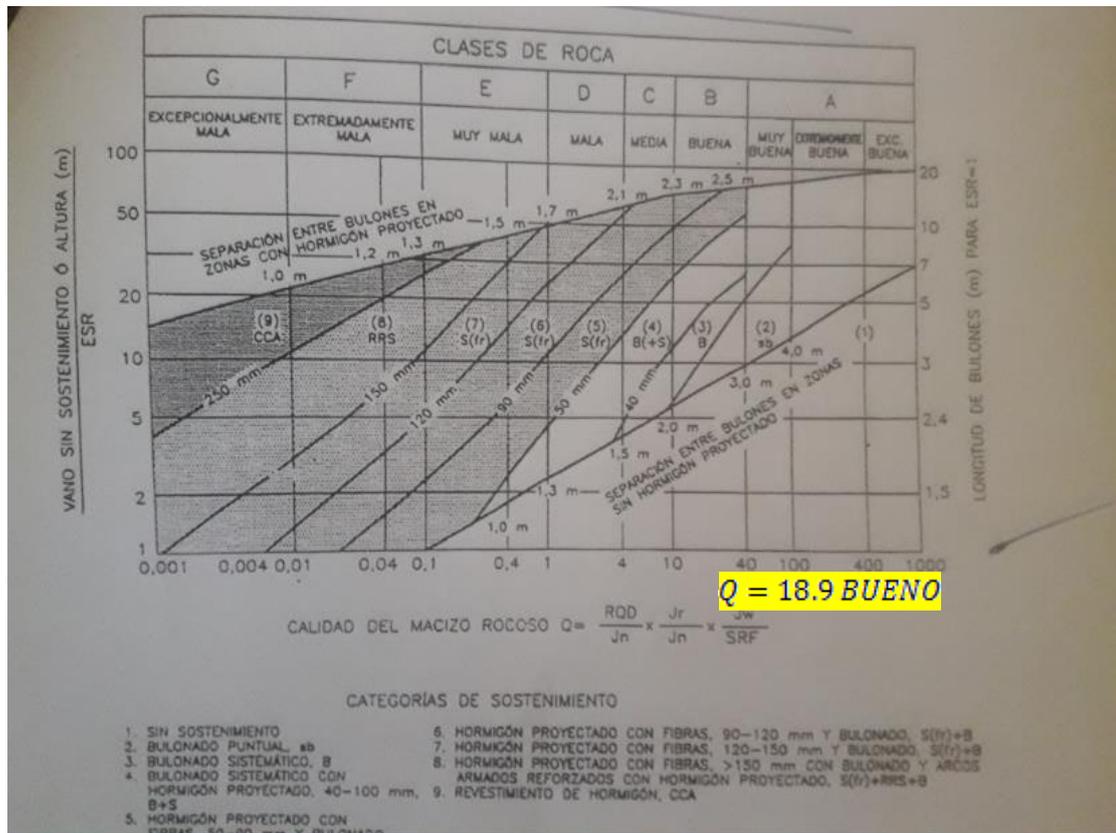


Figura 53. Diseño del sostenimiento en la estación N° 6 hastial izquierdo.

Fuente: Barton, N.R., Lien, R. and Lunde, J. (1974). Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support. Rock Mech. 6(4), 189-239.

La estación geomecánica 06 del hastial izquierdo tiene un tramo de 12 metros respectivamente, a cada metro se hizo trabajo de campo mediante los formatos de (Bhawani y R. K. p. 96) aplicando el martillo smith, caracterización de macizos, RMR<sub>89</sub> tramo se da el tipo de diseño para cada estación geomecánica tanto como el hastial izquierdo y derecho.

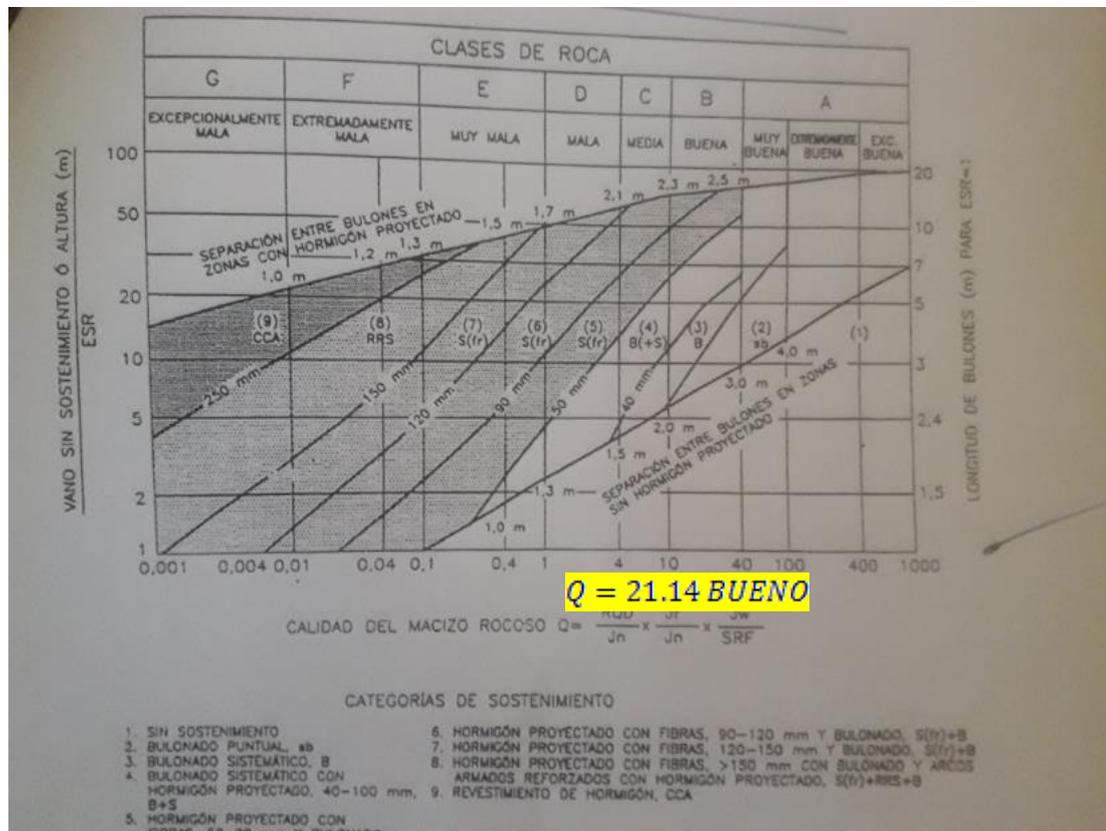


Figura 54. Diseño del sostenimiento en la estación N° 6 hastial derecho.

Fuente: Barton, N.R., Lien, R. and Lunde, J. (1974). Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support. *Rock Mech.* 6(4), 189-239.

La estación geomecánica 06 del hastial derecho tiene un tramo de 10 metros respectivamente, a cada metro se hizo trabajo de campo mediante los formatos de (Bhawani y R. K. p. 96) aplicando el martillo smith, caracterización de macizos, RMR<sub>89</sub> tramo se da el tipo de diseño para cada estación geomecánica tanto como el hastial izquierdo y derecho.

#### 4.8 Discusión

La caracterización del macizo rocoso se detalla en los Cuadros.

ESTACION 01 HASTIAL IZQUIERDO (15°)	<b>E = 452287.160</b>	<b>N = 8384331.097</b>	<b>COTA = 4972.251</b>
	<b><math>\Sigma RQD</math></b>	66.8	Regular (50 – 75)
	<b>RMR</b>	63	
	<b>C</b>	0.315	Mpa
	<b><math>\phi</math></b>	34°	
	<b><math>\Sigma Q</math></b>	63	Muy bueno 40 - 100
	<b>GSI(RMR89)</b>	58	
	<b>GSI(Q)</b>	60	

ESTACION 01 HASTIAL DERECHO (15°)	<b>E = 452289.868</b>	<b>N = 8384331.097</b>	<b>COTA = 4972.251</b>
	<b><math>\Sigma RQD</math></b>	60.3	Regular (50 – 75)
	<b>RMR</b>	58	
	<b>C</b>	0.29	Mpa
	<b><math>\phi</math></b>	32°	
	<b><math>\Sigma Q</math></b>	13.48	Bueno (10 – 40)
	<b>GSI(RMR89)</b>	53	
	<b>GSI(Q)</b>	54	

Fuente: Elaboración propia del tesista.

La caracterización geomecánica realizada en la formación de la roca metamórfica pizarra, elaborado en el proyecto se logra obtener la calidad de la roca, hecho en 06 estaciones, tanto como el hastial izquierdo, hastial derecho distribuido estratégicamente en 06 zonas representativas a lo largo del proyecto en desarrollo y como resultados nos indican que el macizo rocoso en la estación 01 da como calidad de roca regular (III) con un RMR<sub>89</sub> por encima de 40, con un comportamiento del macizo rocoso de dos familias de discontinuidades existentes en cada hastial como tramo de diez metros tanto en el hastial izquierdo, derecho

ESTACION 012 HASTIAL IZQUIERDO (356°)	<b>E = 452291.592</b>	<b>N = 8384356.419</b>	<b>COTA = 4974.948</b>
	<b><math>\Sigma</math>RQD</b>	60.1	Regular (50 – 75)
	<b>RMR</b>	58	
	<b>C</b>	0.29	Mpa
	<b><math>\phi</math></b>	31.5°	
	<b><math>\Sigma</math>Q</b>	11.04	Bueno (10 – 40)
	<b>GSI(RMR89)</b>	53	
	<b>GSI(Q)</b>	53.3	

ESTACION 02 HASTIAL DERECHO (356°)	<b>E = 452293.720</b>	<b>N = 8384356.419</b>	<b>COTA = 4974.948</b>
	<b><math>\Sigma</math>RQD</b>	65.8	Regular (50 – 75)
	<b>RMR</b>	57	
	<b>C</b>	0.285	Mpa
	<b><math>\phi</math></b>	31°	
	<b><math>\Sigma</math>Q</b>	11.46	Bueno (10 – 40)
	<b>GSI(RMR89)</b>	52	
	<b>GSI(Q)</b>	53.53	

Fuente: Elaboración propia del tesista.

La caracterización geomecánica realizada en la formación de la roca metamórfica pizarra, elaborado en el proyecto se logra obtener la calidad de la roca, hecho en 06 estaciones, tanto como el hastial izquierdo, hastial derecho distribuido estratégicamente en 06 zonas representativas a lo largo del proyecto en desarrollo y como resultados nos indican que el macizo rocoso en la estación 02 da como calidad de roca regular (III) con un RMR<sub>89</sub> por encima de 40, con un comportamiento del macizo rocoso de dos familias de discontinuidades existentes en cada hastial como tramo de diez metros tanto en el hastial izquierdo, derecho.

ESTACION 03 HASTIAL IZQUIERDO (355°)	<b>E = 452241.123</b>	<b>N = 8384495.340</b>	<b>COTA = 4987.438</b>
	<b><math>\Sigma</math>RQD</b>	68	Regular (50 – 75)
	<b>RMR</b>	64	
	<b>C</b>	0.32	Mpa
	<b><math>\phi</math></b>	34.5°	
	<b><math>\Sigma</math>Q</b>	21	Bueno (10 – 40)
	<b>GSI(RMR89)</b>	59	
	<b>GSI(Q)</b>	55.89	

ESTACION 03 HASTIAL DEREHO (355°)	<b>E = 452245.720</b>	<b>N = 8384495.361</b>	<b>COTA = 4987.438</b>
	<b><math>\Sigma</math>RQD</b>	61.5	Regular (50 – 75)
	<b>RMR</b>	61	
	<b>C</b>	0.305	Mpa
	<b><math>\phi</math></b>	33°	
	<b><math>\Sigma</math>Q</b>	12	Bueno (10 – 40)
	<b>GSI(RMR89)</b>	56	
	<b>GSI(Q)</b>	53.71	

Fuente: Elaboración propia del tesista.

La caracterización geomecánica realizada en la formación de la roca metamórfica pizarra, elaborado en el proyecto se logra obtener la calidad de la roca, hecho en 06 estaciones, tanto como el hastial izquierdo, hastial derecho distribuido estratégicamente en 06 zonas representativas a lo largo del proyecto en desarrollo y como resultados nos indican que el macizo rocoso en la estación 03 da como calidad de roca regular (III) con un RMR<sub>89</sub> por encima de 40, con un comportamiento del macizo rocoso de dos familias de discontinuidades existentes en cada hastial como tramo de diez metros tanto en el hastial izquierdo, derecho.

ESTACION 04 HASTIAL IZQUIERDO (10°)	<b>E = 45237.072</b>	<b>N = 8384597.034</b>	<b>COTA = 4985.609</b>
	<b>ΣRQD</b>	61.8	Regular (50 – 75)
	<b>RMR</b>	57	
	<b>C</b>	0.285	Mpa
	<b>φ</b>	31°	
	<b>ΣQ</b>	5.03	Medio (4 – 10)
	<b>GSI(RMR89)</b>	52	
	<b>GSI(Q)</b>	50.31	

ESTACION 04 HASTIAL DERECHO (10°)	<b>E = 452240.471</b>	<b>N = 8384597.034</b>	<b>COTA = 4985.609</b>
	<b>ΣRQD</b>	59.4	Regular (50 – 75)
	<b>RMR</b>	53	
	<b>C</b>	0.265	Mpa
	<b>φ</b>	29°	
	<b>ΣQ</b>	5	Medio (4 – 10)
	<b>GSI(RMR89)</b>	48	
	<b>GSI(Q)</b>	50.29	

Fuente: Elaboración propia del tesista.

La caracterización geomecánica realizada en la formación de la roca metamórfica pizarra, elaborado en el proyecto se logra obtener la calidad de la roca, hecho en 06 estaciones, tanto como el hastial izquierdo, hastial derecho distribuido estratégicamente en 06 zonas representativas a lo largo del proyecto en desarrollo y como resultados nos indican que el macizo rocoso en la estación 04 da como calidad de roca regular (III) con un RMR<sub>89</sub> por encima de 40, con un comportamiento del macizo rocoso de dos familias de discontinuidades existentes en cada hastial como tramo de diez metros tanto en el hastial izquierdo, derecho.

ESTACION 05 HASTIAL IZQUIERDO (35°)	<b>E = 452255.842</b>	<b>N = 8384705.019</b>	<b>COTA = 4985.534</b>
	<b><math>\Sigma RQD</math></b>	54.4	Regular (50 – 75)
	<b>RMR</b>	57	
	<b>C</b>	0.285	Mpa
	<b><math>\phi</math></b>	31	
	<b><math>\Sigma Q</math></b>	11	Buena (10 – 40)
	<b>GSI(RMR89)</b>	52	
	<b>GSI(Q)</b>	53.37	

ESTACION 05 HASTIAL DERECHO (35°)	<b>E = 452258.840</b>	<b>N = 8384705.019</b>	<b>COTA = 4985.534</b>
	<b><math>\Sigma RQD</math></b>	66.9	Regular (50 – 75)
	<b>RMR</b>	64	
	<b>C</b>	0.32	Mpa
	<b><math>\phi</math></b>	34.5°	
	<b><math>\Sigma Q</math></b>	16.7	Buena (10 -40)
	<b>GSI(RMR89)</b>	59	
	<b>GSI(Q)</b>	55	

Fuente: Elaboración propia del tesista.

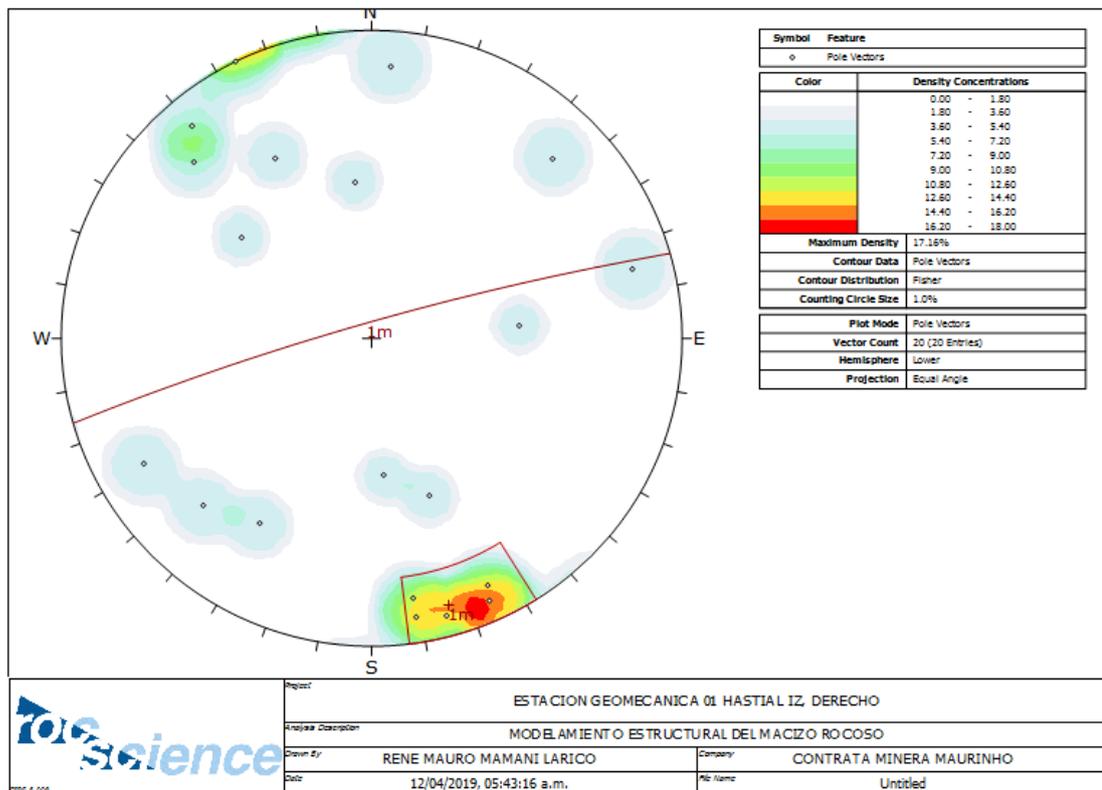
La caracterización geomecánica realizada en la formación de la roca metamórfica pizarra, elaborado en el proyecto se logra obtener la calidad de la roca, hecho en 06 estaciones, tanto como el hastial izquierdo, hastial derecho distribuido estratégicamente en 06 zonas representativas a lo largo del proyecto en desarrollo y como resultados nos indican que el macizo rocoso en la estación 05 da como calidad de roca regular (III) con un RMR<sub>89</sub> por encima de 40, con un comportamiento del macizo rocoso de una familia de discontinuidades existentes en cada hastial como tramo de diez metros tanto en el hastial izquierdo, derecho.

ESTACION 06 HASTIAL IZQUIERDO (351°)	<b>E = 452253.748</b>	<b>N = 8384730.345</b>	<b>COTA = 4988.887</b>
	<b><math>\Sigma RQD</math></b>	59.4	Regular(50 – 75)
	<b>RMR</b>	64	
	<b>C</b>	0.32	Mpa
	<b><math>\phi</math></b>	34.5°	
	<b><math>\Sigma Q</math></b>	18.9	Buena (10 – 40)
	<b>GSI(RMR89)</b>	59	
	<b>GSI(Q)</b>	55.48	

ESTACION 06 HASTIAL DRECHO (351°)	<b>E = 452257.778</b>	<b>N = 8384730.345</b>	<b>COTA = 4988.887</b>
	<b><math>\Sigma RQD</math></b>	61.2	Regular (50 – 75)
	<b>RMR</b>	63	
	<b>C</b>	0.315	Mpa
	<b><math>\phi</math></b>	34°	
	<b><math>\Sigma Q</math></b>	21.14	Buena(10 – 40)
	<b>GSI(RMR89)</b>	58	
	<b>GSI(Q)</b>	55.92	

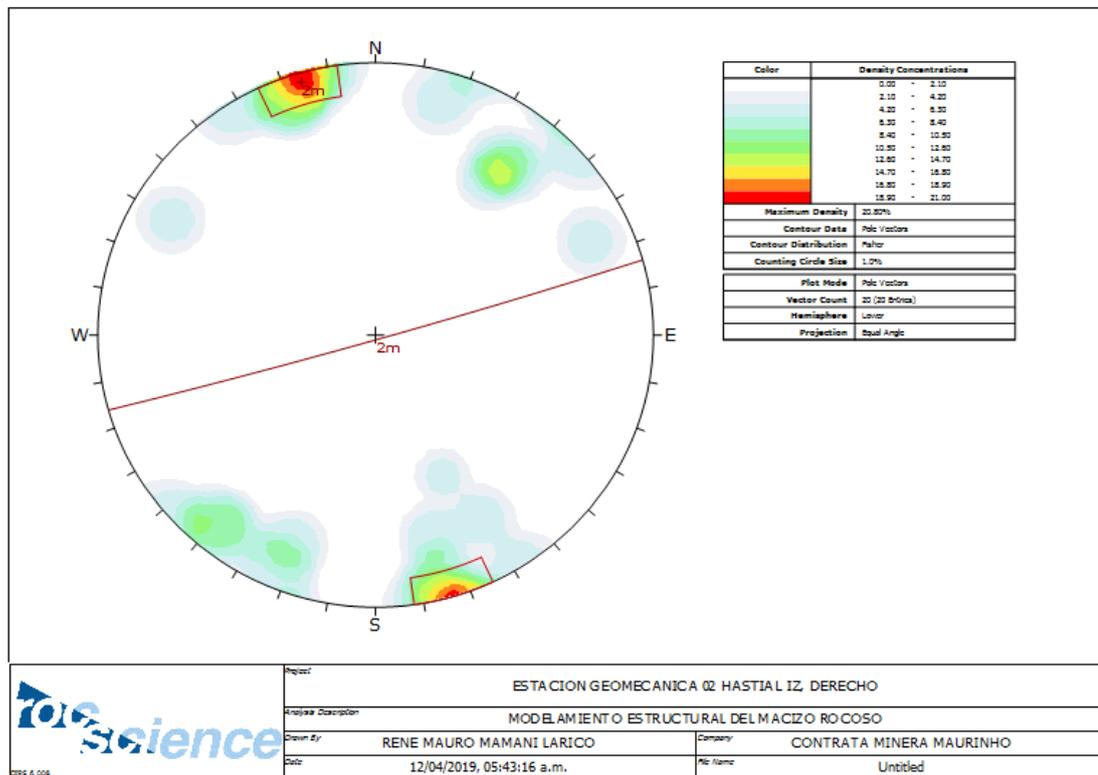
Fuente: Elaboración propia del tesista.

La caracterización geomecánica realizada en la formación de la roca metamórfica pizarra, elaborado en el proyecto se logra obtener la calidad de la roca, hecho en 06 estaciones, tanto como el hastial izquierdo, hastial derecho distribuido estratégicamente en 06 zonas representativas a lo largo del proyecto en desarrollo y como resultados nos indican que el macizo rocoso en la estación 06 da como calidad de roca regular (III) con un RMR<sub>89</sub> por encima de 40, con un comportamiento del macizo rocoso de dos familias de discontinuidades existentes en cada hastial como tramo de diez metros tanto en el hastial izquierdo, derecho.



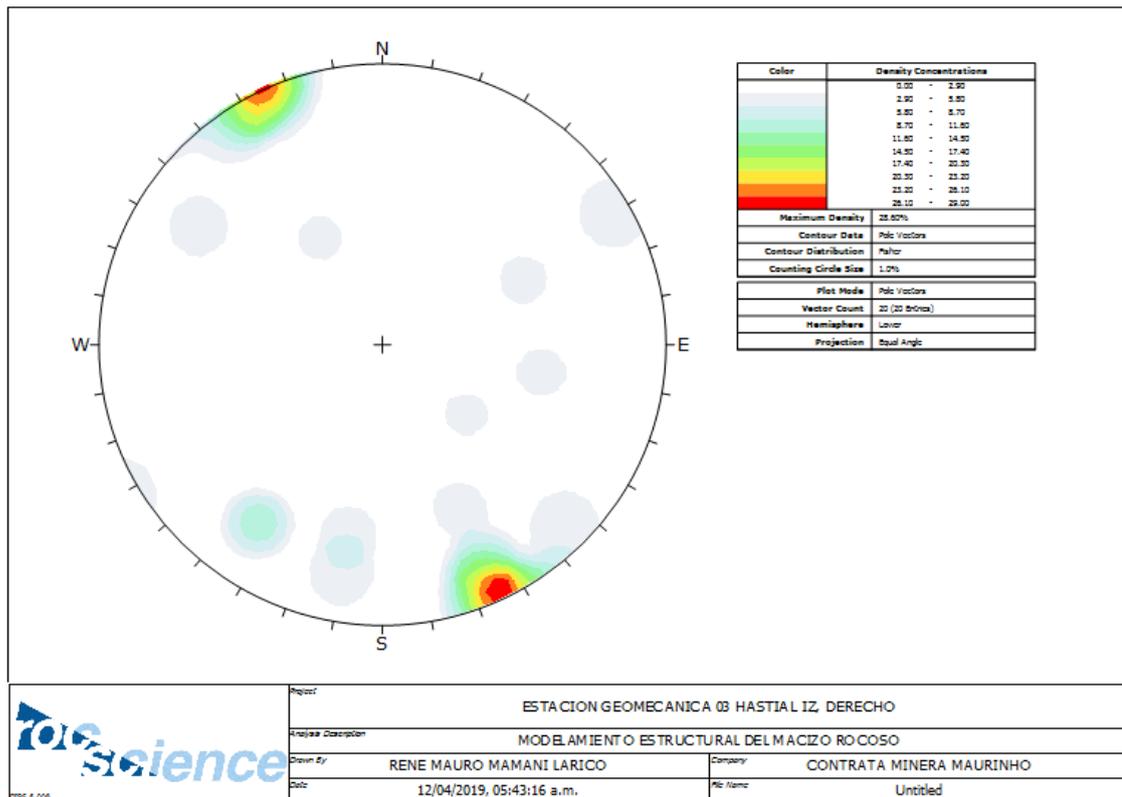
Fuente: Elaboracion propia del tesista

El dominio geotécnico que presenta la estación 01 de la caracterización geomecánica, roca pizarra, está dada por 02 familias de discontinuidades que no se interceptan entre sí, generando un tipo de sostenimiento pasivo, que solo requiere cuadros de madera el cual no requiere de un tipo de sostenimiento inmediato, el techo de la excavación presenta por la exposición fracturas regulares pero los hastiales presenta fracturas regulares por metro lineal.



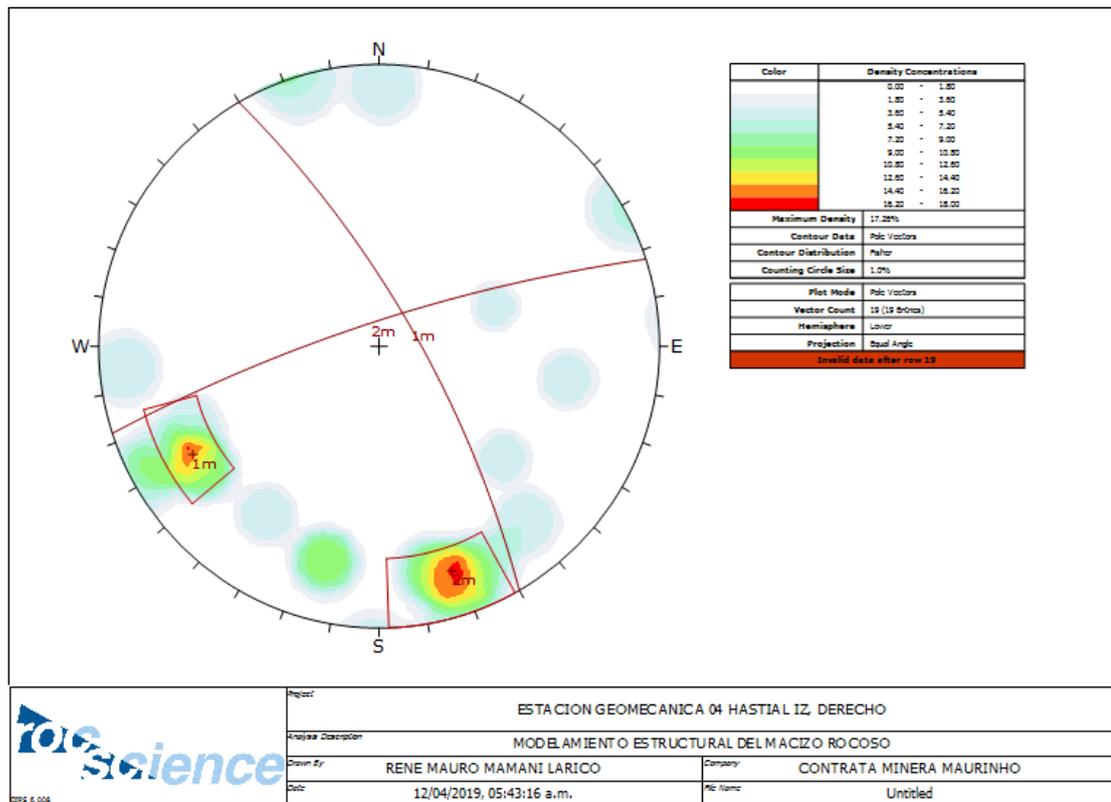
Fuente: Elaboracion propia del tesista

El dominio geotécnico que presenta la estación 02 de la caracterización geomecánica, roca pizarra, está dada por 02 familias de discontinuidades que no se interceptan entre sí, generando un tipo de sostenimiento pasivo, solo requiere cuadros de madera el cual no requiere de un tipo de sostenimiento inmediato, en esta estación los hastiales el techo de la excavación esta con pocas fracturas, los hastiales con pocas fracturas por metro lineal.



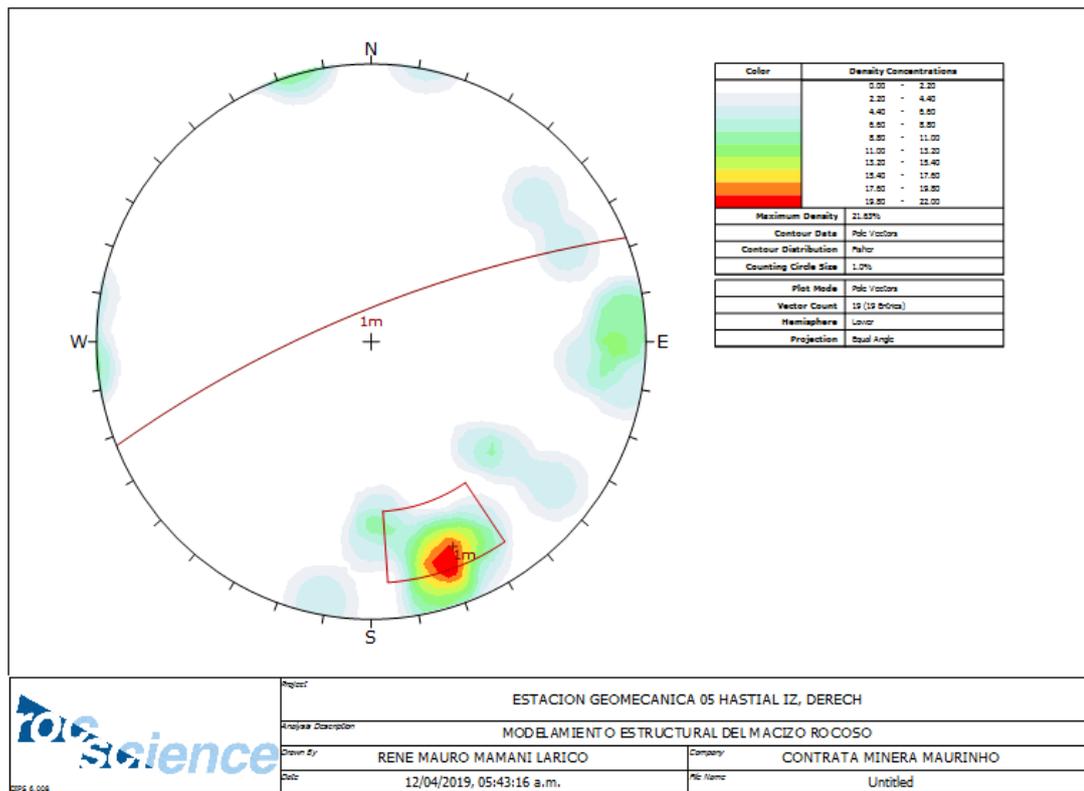
Fuente: Elaboracion propia del tesista

El dominio geotécnico que presenta la estación 03 de la caracterización geomecánica, roca pizarra, está dada por 02 familias de discontinuidades que no se interceptan entre sí, generando un tipo de sostenimiento pasivo, no requiere sostenimiento no presenta fracturas en el techo solo en los hastiales pero en menor proporción que no representa peligro inmediato el cual no requiere de un tipo de sostenimiento, es la única estación con pocas fracturas en ambos hastiales.



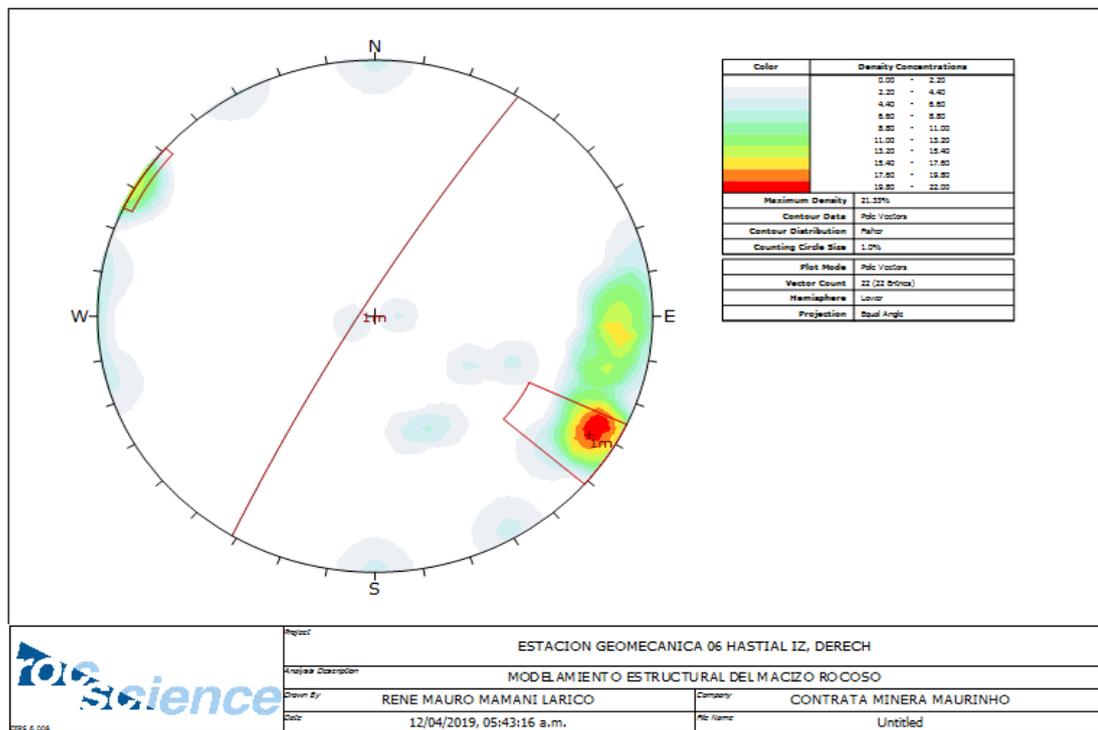
Fuente: Elaboracion propia del tesista

El dominio geotécnico que presenta la estación 04 de la caracterización geomecánica, roca pizarra, está dada por 02 familias de discontinuidades que se interceptan entre sí, generando el modo de falla por efecto cuña, el cual requiere de un tipo de sostenimiento inmediato ya que se observa fracturas en el techo y en los hastiales izquierdo y derecho tanto que las fracturas ya están en proceso de brechado ,para evitar el desprendimiento de rocas en el proyecto que es una causal primordial en accidentes de mina, los hastiales izquierdo, hastial derecho son fracturados, es la única estación con más dominio geotécnico en ambos hastiales lo cual requiere ser sostenido por shotckrete y mallas de 10 x 10 centímetros y reforzados por pernos de anclaje de 6 pies.



Fuente: Elaboracion propia del tesista

El dominio geotécnico que presenta la estación 05 de la caracterización geomecánica, roca pizarra, está dada por una familia de discontinuidades que no se interceptan entre sí, generando pasivo, en esta estación solo requiere permanente supervisión y constante monitoreo no representa un peligro inmediato no se presenciaba fracturas en el techo solo en los hastiales pero en menor proporción el cual no requiere de un tipo de sostenimiento inmediato. Es la estacion con menos domino geotécnico ya que no presenta fracturas de mayor relevancia ni en los hastiales, tanto como el techo de la excavación.



Fuente: Elaboracion propia del tesista

El dominio geotécnico que presenta la estación 06 de la caracterización geomecánica, roca pizarra, está dada por 02 familias de discontinuidades que no se interceptan entre sí, generando un tipo de sostenimiento activo, lo cual debe estar supuestamente sostenido por pernos de anclaje de seis pies pero el cual no requiere de un tipo de sostenimiento inmediato. Es la estacion que tiene de forma regular a baja las fracturas en ambos hastiales, el techo de la excavación solo presenta de forma regular fracturas.

#### 4.9 Comparación de datos

La comparación de resultados está basado en la investigación que se efectuó dentro de la U.E.A. que pertenecen al titular minero que es corporación minera Ananea, el área de estudio es dentro de la influencia de estas concesiones. Las tesis titulado son, “caracterización geomecánica del macizo rocoso y su aplicación en el diseño de sostenimiento en labores de desarrollo de la unidad económica administrativa Ana maría – la Rinconada”, “caracterización geomecánica para la determinación del tipo de sostenimiento en la galería gavilán de oro de la U.E.A. Ana maría”, se observa en el siguiente cuadro N° 54 es Comparativo de resultados generales del RMR<sub>89</sub>, Q de Barton, GSI respectivamente.

Cuadro 54

TESISTAS	RMR <sub>89</sub>	Q DE BARTON	GSI
RENE MAURO MAMANI LARICO	MAX = 64 MIN = 57	MAX = 63 MIN = 5	MAX = 60 MIN = 50.29
MIJAIL ANTONIO CALDERÓN MENA	MAX = 69 MIN = 53	MAX = 82 MIN = 5.4	----- -----
WILBERTH CHURA LOPE	MAX = 74 MIN = 54	MAX = 40.83 MIN = 4.28	MAX = 59 MIN = 50

FUENTE: elaboración propia del tesista.

#### 4.10 Contratación

<b>HIPOTESIS</b>	<b>OBJETIVOS</b>	<b>RESULTADOS</b>
<p><b>HIPÓTESIS GENERAL</b></p> <p>Mediante la caracterización geomecánica del macizo rocoso nos permitirá identificar zonas y dominios geotécnicos del macizo rocoso que nos dará un diseño de sostenimiento de las cuñas subterráneas de roca de la excavación subterránea.</p> <p><b>HIPÓTESIS ESPECIFICAS</b></p> <p>a) Los parámetros geomecánicos a considerar dentro de la caracterización serán las propiedades de las discontinuidades y las propiedades del macizo rocoso el cual dará a conocer las zonas de dominios geotécnicos de la excavación que pasa por dos concesiones Ana María I y IV.</p> <p>b) El diseño de sostenimiento para las labores de desarrollo dependerá del dominio geotécnico influye en la inestabilidad del macizo rocoso.</p>	<p><b>OBJETIVO GENERAL</b></p> <p>Analizar la caracterización geomecánica del macizo rocoso de cada estación como en los hastiales izquierdo y derecho con tramo de 10 metros respectivamente.</p> <p><b>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b></p> <p>Determinar los parámetros geomecánicos para la caracterización del macizo rocoso como son; abertura, rugosidad, relleno, alteración, presencia de agua, número de fracturas por metro lineal, y tipo del macizo rocoso.</p> <p>Determinar el diseño de sostenimiento para la excavación de desarrollo en la U.E.A: Ana María I y IV en la galería principal de la contrata Minera Maurinho.</p>	<p>a) La caracterización del macizo rocoso da como calidad de roca según la zona y el <math>RMR_{89}</math> de Bieniawski da como resultado regular (III) y los valores fluctúan entre 40 y 80 como indicador cuantificable.</p> <p>b) Los parámetros como la resistencia a la compresión simple, discontinuidades se obtuvo con el martillo de Smith la rugosidad, relleno, espaciado, persistencia de agua, alteración, nos grafica los dominios geotécnicos empleados mediante software dips 06 da como resultado un tipo de sostenimiento activo excepto la estación geomecánica 04 que da un dominio geotécnico de tipo cuña lo cual requiere sostenimiento con shotcrete</p> <p>c) Según los valores del índice Q de Barton el tipo sostenimiento activo de forma puntual y sistemática en cada estación. Caracterizada dio como resultado más dominio de tipo bueno y un hastial de tipo muy bueno y la estación geomecánica 04 dio como resultado medio. Aplicar pernos de anclaje de 4 a 6 pies. Con dominiogeotécnico entre 6 a 8 pies.</p>



## CONCLUSIONES

La caracterización geomecánica del proyecto dio como resultado la calidad del macizo rocoso, según RMR<sub>89</sub> máximo de 64 y mínimo 57, roca regular (III), Q de Barton tipo de roca Bueno con un valor máximo de 63, el GSI con un valor máximo de 60 y un valor mínimo de 50.29 respectivamente. En las estaciones 01, 02, 03, 05, 06 y como dominio geotécnico de las propiedades de las discontinuidades dio el tipo de falla por el efecto cuña, en estación 04 que además dio RMR<sub>89</sub> regular y el Q de Barton con un valor mínimo de 5 tipo de roca medio. Por consiguiente, se aplicará el sostenimiento con Split set pernos de seis pies en la estación 04, lo cual controlará los peligros por desprendimiento de rocas y elevando el factor de seguridad en el proyecto mediante el programa unwedge, estados de esfuerzos con el programa phase2.

Las estaciones geomecánicas fueron caracterizadas por tramos de 10 metros, y cada metro caracterizado, con RMR<sub>89</sub> Bieniawski, martillo Smith, formatos de caracterización del macizo rocoso, etc. efectuado cada hastial de cada estación geomecánica, todo este proceso nos permitió entender los dominios geotécnicos con sus respectivos parámetros y el más resaltante fue la estación 04 que tiene fracturas en el techo y los hastiales. Las demás estaciones dieron como resultado un Q de Barton bueno por consiguiente los trabajos en la excavación son de permanente desarrollo.

Cada estación fue simulada por los programas que pertenecen a rocscience como el phase2 para representación de esfuerzos, unwedge para simular y ver en diferentes vistas los tipos de cuña y determinar el factor de seguridad, Dips 06 para visualizar los dominios geotécnicos que cada punto fue tomado con brújula. Todo el trabajo de investigación desarrollado en la Contrata Minera Maurinho de la U.E.A. I y IV ha sido totalmente descriptivo tomando como referencia los formatos de caracterización del macizo rocoso,



## RECOMENDACIONES

Para la selección de tipo sostenimiento se debe de conocer la calidad de las propiedades físicas-mecánicas del macizo rocoso ya que los estados tensionales varían con respecto a la excavación. Debe de utilizar constantemente las caracterizaciones geomecánicas, y cumplir los procedimientos indicados para dar un tipo de sostenimiento y diseñarlo, ya que las operaciones en esta zona son constantes a mayor profundidad las zonas se puede apreciar estallidos de rocas en periodos largos de tiempo, también realizar monitoreo constante en toda la excavación mediante caracterizaciones geomecánicas por el método lineal ya que las dimensiones no son muy amplias en esta zona.

Para la obtención de los dominios geotécnicos, se deberá apoyar con programas computacionales de Rocscience como son, el software Dips y Unwedge, Phase02 con el objetivo de visualizar a un mejor y detallado, para luego diseñar el sostenimiento a utilizar.

Se recomienda usar más sistemas de clasificación, a parte del RMR<sub>89</sub> de Bieniawski y Q de Barton, y el GSI para tener un mayor rango de comparación, lo que lleva a tener mayor detalle y precisión en la clasificación de la roca y en el análisis del diseño de sostenimiento de las cuñas subterráneas en la excavación donde se desarrolla el trabajo. Es posible disminuir la cantidad de elementos de sostenimiento, ya que obtuvieron valores de factores de seguridad superior a 1.2, lo que determinará un menor costo en el sostenimiento de la galería.



## REFERENCIAS

*Chura Lope Wilberth (2016), tesis titulado “Caracterización geomecánica del macizo rocoso y su aplicación en el diseño de sostenimiento en labores de desarrollo de la unidad económica administrativa Ana María – la Rinconada”; Ingeniería de Minas – UNA – PUNO.*

*Condori A. E. (2010), tesis titulado “Evaluación geomecánica de San Andrés de la mina La Rinconada”; Ingeniería Geología – UNA – PUNO.*

*Soto Vilca Angel Christopher (2016), tesis titulado “diseño de sostenimiento en el túnel Wayrasencca – Ollachea, Ingeniería de Minas – UNA – PUNO.*

*Calderón Mena M. Antonio (2018), tesis titulado “caracterización geomecánica para la determinación del tipo de sostenimiento en la galería gavián de oro de la UEA ana maría” Ingeniería de Minas – UNA – PUNO.*

*Aquilino Bustamante Murillo (2008) tesis de post grado titulado “Geomecanica Aplicada en la prevención de pérdidas por caída de rocas Mina Huazanla – Cia Minera Santa Luisa S.A.”*

*Víctor Sandrino Rivero abarca (octubre 2008) Evaluación Geomecanica de Estrategias de Socavación en Minería Subterránea Memoria universidad de chile Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas Departamento de Ingeniería de Minas.*

*Sindy Lorena Burgos Cedeño (Santiago de chile 2015) universidad de chile facultas de ciencias físicas y matemáticas departamento de ingeniería de minas.*

*(Artículo de Investigación) “Caracterización y Clasificación Geomecánica del Macizo Rocos del Sector la Sierra, Sogamoso, Boyacá, Colombia” Albarracín Sepúlveda Olga lucía, Gómez Acevedo Diana Carolina (año no especifica).*



*velasquez, (2010) Evaluacion del yacimiento Cumuni –santa Ana. Puno, peru*  
*Bieniawski 1989 Clasificación geomecánica del macizo rocoso (RMR) 1989)*  
*Deere, D.U. and Deere D. W. 1988 the Rock Quality designation (RQD) index in practice In Rock Classification systems for ingeniering purposes. (ed. L. Kirkaldie). ASTM Special Publication 984 91. 101 Philadelphia: Am. Soc. Test. Mat.*

*(Deere, Peck Parker, Monsees, & Schmidt, 1970) (Barton & Bandis, 1976) (Barton N., 1988)*

*(Gonzales de Vallejo, 2002) Influencia de la estructura geológica en la estabilidad de un túnel. Figura 3*

*(Ibid., p. 496) Influencia de las discontinuidades en la estabilidad de un túnel. Figura 4*  
*Fuente:*

*: (Barton N., 1988)*

*(1) Falla de la entre la lechada y la roca en la zona de empotramiento; (2) Falla por tensión; (3) Falla de la placa y (4) Falla por corte*

*(Deere et al, 1970)*

*(1) Falla por corte; (2) Falla por tensión diagonal; (3) Falla por adherencia del shotcrete a la roca y (4) Falla por flexión*

*Fredy Elorrieta EPG Puno 2017, (ISRM 1978), corporación minera Ananea S.A., paredes Giraldo 2011 split set.*

*Ferrer.M. Gonzales Vallejo, L Eds (1999) Manual de Campo para la descripción y caracterización de macizos rocosos en afloramientos IGME.*

*Mechanics Goodman pag 75. Laboratorio de geotecnia y geomecánica 0128-2013-lms&r-fim-una-puno, laboratorio de geotecnia y geomecánica-FIM-UNA-PUNO año 2015, Introducción to Rock*



*Gonzales de Vallejo Introduction to Geotechnical Engineering Holst Covasc 1975 pag 520, ( donde considera todos los parámetros de RMR<sub>89</sub> de Bienianski UNA – PUNO EPG MGGM 2017).*

*Hoek & Brown el uso del RMR ya no es adecuado, sobre todo para el caso de rocas, débiles, y Hoek y Brown se introduce de esta forma el GSI (Hoek, et. 1995)*

*Flores, M. (2013) Diseño del soporte y reforzamiento del macizo rocoso. Rock Info. Consultoria en Geomecanica Minera.*

*Barton, N.R., Lien, R. and Lunde, J. (1974). Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support. Rock Mech. 6(4), 189-239*



# ANEXOS

Anexo 01. *Matriz de consistencia*

1 PROBLEMAS	2 OBJETIVOS	3 HIPOTESIS	4 VARIABLES	5 METODOLOGIA
<p><b>INTERROGANTE GENERAL</b></p> <p>¿Qué importancia tiene la caracterización geomecánica del macizo rocoso y el diseño de sostenimiento de la U.E.A. I y VI de la contrata Minera Maurinho?</p> <p><b>INTERROGANTES ESPECIFICAS</b></p> <p>¿Cuáles son los parámetros geomecánicos a considerar dentro de la caracterización geomecánica en la U.E.A. Ana María I y IV de la contrata Minera Maurinho?</p> <p>¿Cuál será la propuesta del tipo de diseño del sostenimiento para las labores de desarrollo en la U.E.A. Ana María I y IV de la galería principal de la contrata Minera Maurinho?</p>	<p><b>OBJETIVO GENERAL</b></p> <p>Analizar la caracterización geomecánica del macizo rocoso de cada estación como en los hastiales izquierdo y derecho con tramo de 10 metros respectivamente.</p> <p><b>OBJETIVOS ESPECIFICOS</b></p> <p>Determinar los parámetros geomecánicos para la caracterización del macizo rocoso como son; abertura, rugosidad, relleno, alteración, presencia de agua, número de fracturas por metro lineal, y tipo del macizo rocoso.</p> <p>Determinar el diseño de sostenimiento para la excavación de desarrollo en la U.E.A. Ana María I y IV en la galería principal de la contrata Minera Maurinho.</p>	<p><b>HIPÓTESIS GENERAL</b></p> <p>Mediante la caracterización geomecánica del macizo rocoso nos permitirá identificar zonas y dominios geotécnicos del macizo rocoso que nos dará un diseño de sostenimiento de las cuñas subterráneas de roca de la excavación subterránea.</p> <p><b>HIPÓTESIS ESPECIFICAS</b></p> <p>a) Los parámetros geomecánicos a considerar dentro de la caracterización serán las propiedades de las discontinuidades y las propiedades del macizo rocoso el cual dará a conocer las zonas de dominios geotécnicos de la excavación que pasa por dos concesiones Ana María I y IV.</p> <p>b) El diseño de sostenimiento para las labores de desarrollo dependerá del dominio geotécnico influye en la inestabilidad del macizo rocoso.</p>	<p><b>VARIABLE INDEPENDIENTE:</b></p> <p>Se tomara datos estructurales con la brújula bruntum como buzamiento y dirección de buzamiento, se tomara las características de las propiedades de las discontinuidades mediante formatos en ubicación de análisis y resultados, el martillo Smith cumplirá la función mediante la Tabla de índice de resistencia de la roca (ISRM 1978)</p> <p><b>VARIABLE DEPENDIENTE:</b></p> <p>: El diseño de sostenimiento dependerá de los programas de rocsience como el phase2, unwedge, y el dips 06 para simular que tipo de sostenimiento debe emplearse en los desarrollos futuros.</p>	<p><b>1 TIPO</b></p> <p><b>INVESTIGACION Aplicada</b></p> <p><b>2 NIVEL</b></p> <p><b>INVESTIGACION Descriptivo</b></p> <p><b>3 METODO</b> Descriptivo</p> <p><b>4 DISEÑO</b> Investigación por objetivo</p> <p><b>5 POBLACION</b></p> <p>El ámbito de estudio se considera a la Unidad Económica Administrativa, Ana María I y IV de la contrata Minera Maurinho</p> <p><b>6 MUESTRA</b> Como muestra se tomara la excavación de desarrollo “proyecto María” con una longitud de 750 metros lineales aproximadamente con una sección de 2.20 x 3 metros perteneciente a la Contrata Minera Maurinho de la Unidad Económica Administrativa, Ana María I y IV – La Rinconada</p> <p><b>7 TECNICA</b> Levantamiento topográfico mapeo geomecánico</p> <p><b>8 INSTRUMENTOS</b> Brújula, Distanciómetro, Flexómetro, Martillo Smith, Wincha Tablas y ábacos.</p>

Anexo 02. Caracterización de macizos estación 01 hastial izquierdo y derecho

CARACTERIZACION DE MACIZOS											
PROYECTO: MARIA						LEVANTADO POR: RENE MAURO MAMANI LARICO					
UBICACIÓN: UNIDAD ECONOMICA ADMINISTRATIVA ANA MARIA I Y IV									FECHA: 14/02/2019		
REGISTRO LINEAL: HASTIAL IZQUIERDO ESTACION 01											
ESTUDIO: GEOTECNICO				TIPO DE ROCA: PIZARRA				HOJA DE CAMPO			
EXCAVACION		CONDICIONES DE EXPOSICION									
Inclinac.	Azimut										
N° DISCONTINUIDAD	Distancia	Orientacion discontinuidad	Resist. (MPa)	Long. (m)	Abertura (mm)	Rugosidad	Relleno	Alteracion	Agua	N° de fracturas	Tipo
3	0_3	78	135	150	<20	2	3	3	3	1m/1	2
3	0_3	90	154	150	<20	3	4	3	3	0	2
4	0_3	83	184	150	<20	3	3	3	3	1m/3	2
1	3_6	84	140	150	<0	3	3	2	3	1m/2	2
4	3_6	75	45	150	<20	3	4	3	3	1m/1	2
2	3_6	56	128	150	<20	3	3	2	4	1m/1	2
4	6_9	54	174	150	<20	3	4	3	3	1m/4	2
3	6_9	67	152	150	<20	3	4	3	4	1m/1	2
3	6_9	80	61	150	<20	1	4	3	4	1m/3	2
4	9_10	70	31	150	<20	3	3	3	4	1m/2	2

FUENTE: elaboración propia del tesista

CARACTERIZACION DE MACIZOS											
PROYECTO: MARIA						LEVANTADO POR: RENE MAURO MAMANI LARICO					
UBICACIÓN: UNIDAD ECONOMICA ADMINISTRATIVA ANA MARIA I Y IV									FECHA: 14/02/2019		
REGISTRO LINEAL: HASTIAL DERECHO ESTACION 01											
ESTUDIO: GEOTECNICO				TIPO DE ROCA: PIZARRA				HOJA DE CAMPO			
EXCAVACION		CONDICIONES DE EXPOSICION									
Inclinac.	Azimut										
N° DISCONTINUIDAD	Distancia	Orientacion discontinuidad	Resist. (MPa)	Long. (m)	Abertura (mm)	Rugosidad	Relleno	Alteracion	Agua	N° de fracturas	Tipo
4	0_3	57	340	150	<20	2	3	2	4	1m/1	2
3	0_3	51	265	150	<20	2	3	2	3	1m/2	2
2	0_3	86	345	150	<20	3	3	3	3	1m/3	2
4	3_6	83	335	150	<20	3	4	2	3	1m/2	2
4	3_6	82	255	150	<20	1	3	2	3	1m/3	2
4	3_6	48	355	150	<20	2	3	2	3	1m/2	2
5	6_9	79	255	150	<20	2	2	2	4	1m/6	2
3	6_9	81	351	150	<20	3	4	2	3	1m/8	2
4	6_9	86	336	150	<20	2	4	2	4	1m/8	2
4	9_10	85	351	150	<20	2	3	2	4	1m/7	2

Anexo 03. Caracterización de macizos estación 02 hastial izquierdo y derecho

CARACTERIZACION DE MACIZOS												
PROYECTO: MARIA						LEVANTADO POR: RENE MAURO MAMANI LARICO						
UBICACIÓN: UNIDAD ECONOMICA ADMINISTRATIVA ANA MARIA I Y IV									FECHA: 13/02/2019			
REGISTRO LINEAL: HASTIAL IZQUIERDO ESTACION 02												
ESTUDIO: GEOTECNICO				TIPO DE ROCA: PIZARRA				HOJA DE: CAMPO				
EXCAVACION		CONDICIONES DE EXPOSICION										
Inclinac.	Azimit											
N° DISCONTINUIDAD	Distancia	Orientacion discontinuidad	Resist. (MPa)	Long. (m)	Abertura (mm)	Rugosidad	Relleno	Alteracion	Agua	N° de fracturas	Tipo	
												Interseccion de la discontinuidad
3	0_3	89	148	150	<20	4	4	4	4	4	1m/1	2
2	0_3	78	21	150	<20	2	4	4	4	4	1m/3	2
5	0_3	80	120	150	<20	2	4	4	4	4	1m/2	2
4	3_6	85	161	150	<20	4	4	4	4	4	1m/1	2
4	3_6	84	160	150	<20	2	4	4	4	4	1m/2	2
4	3_6	86	22	150	<20	2	4	4	4	4	0	2
5	6_9	83	195	150	<20	2	4	4	4	4	1m/2	2
4	6_9	88	165	150	<20	2	4	4	4	4	1m/2	2
3	6_9	85	345	150	<20	4	4	4	4	4	1m/5	2
3	9_10	83	36	150	>20	2	4	4	4	4	1m/1	1

FUENTE: elaboración propia del tesista

CARACTERIZACION DE MACIZOS												
PROYECTO: MARIA						LEVANTADO POR: RENE MAURO MAMANI LARICO						
UBICACIÓN: UNIDAD ECONOMICA ADMINISTRATIVA ANA MARIA I Y IV									FECHA: 13/02/2019			
REGISTRO LINEAL: HASTIAL DERECHO ESTACION 02												
ESTUDIO: GEOTECNICO				TIPO DE ROCA: PIZARRA				HOJA DE: CAMPO				
EXCAVACION		CONDICIONES DE EXPOSICION										
Inclinac.	Azimit											
N° DISCONTINUIDAD	Distancia	Orientacion discontinuidad	Resist. (MPa)	Long. (m)	Abertura (mm)	Rugosidad	Relleno	Alteracion	Agua	N° de fracturas	Tipo	
												Interseccion de la discontinuidad
3	0_3	74	345	150	<20	3	4	4	4	4	1m/3	2
4	0_3	69	215	150	<20	3	4	4	4	4	1m/6	2
4	0_3	59	335	150	<20	3	4	4	4	4	1m/3	2
3	3_6	83	340	150	<20	3	4	4	4	4	1m/6	2
4	3_6	90	350	150	<20	3	4	4	4	4	1m/4	2
4	3_6	76	215	150	<20	3	4	4	4	4	1m/4	2
2	6_9	76	220	150	>20	3	4	4	4	4	1m/4	1
3	6_9	90	228	150	<20	2	3	3	3	3	1m/2	2
3	6_9	80	246	150	<20	3	4	4	4	4	1m/1	2
2	9_10	75	330	150	<20	3	4	4	4	4	1m/4	2

Anexo 04. Caracterización de macizos estación 03 hastial izquierdo y derecho

CARACTERIZACION DE MACIZOS											
PROYECTO: MARIA						LEVANTADO POR: RENE MAURO MAMANI LARICO					
UBICACIÓN: UNIDAD ECONOMICA ADMINISTRATIVA ANA MARIA I Y IV									FECHA: 12/02/2019		
REGISTRO LINEAL: HASTIAL IZQUIERDO ESTACION 03											
ESTUDIO: GEOTECNICO				TIPO DE ROCA: PIZARRA				HOJA DE CAMPO			
EXCAVACION		CONDICIONES DE EXPOSICION									
Inclinac.	Azimit										
N° DISCONTINUIDAD	Distancia	Orientacion discontinuidad	Resist. (MPa)	Long. (m)	Abertura (mm)	Rugosidad	Relleno	Alteracion	Agua	N° de fracturas	Tipo
4	0-3	76	35	150	<20	2	4	2	3	1m/5	2
1	0-3	75	123	150	<20	2	4	2	4	1m/4	2
2	0-3	68	110	150	<20	2	4	2	4	1m/3	2
5	3_6	88	150	150	<20	2	4	2	4	1m/2	2
3	3_6	86	156	150	<20	2	4	2	4	1m/2	2
2	3_6	47	150	150	<20	2	3	2	4	1m/3	2
3	6_9	74	34	150	<20	2	3	2	4	1m/2	2
4	6_9	79	10	150	<20	2	4	2	3	1m/4	2
4	6_9	86	145	150	<20	2	4	2	3	1m/2	2
2	9_10	89	153	150	<20	2	3	2	3	1m/1	2

FUENTE: elaboración propia del tesista

CARACTERIZACION DE MACIZOS											
PROYECTO: MARIA						LEVANTADO POR: RENE MAURO MAMANI LARICO					
UBICACIÓN: UNIDAD ECONOMICA ADMINISTRATIVA ANA MARIA I Y IV									FECHA: 12/02/2019		
REGISTRO LINEAL: HASTIAL DERECHO ESTACION 03											
ESTUDIO: GEOTECNICO				TIPO DE ROCA: PIZARRA				HOJA DE CAMPO			
EXCAVACION		CONDICIONES DE EXPOSICION									
Inclinac.	Azimit										
N° DISCONTINUIDAD	Distancia	Orientacion discontinuidad	Resist. (MPa)	Long. (m)	Abertura (mm)	Rugosidad	Relleno	Alteracion	Agua	N° de fracturas	Tipo
3	0-3	86	240	150	<20	1	4	1	3	1m/2	2
4	0-3	43	310	150	<20	2	4	2	3	1m/1	2
2	0-3	57	245	150	<20	2	4	2	4	1m/1	2
4	3_6	86	339	150	<20	2	4	2	4	0	2
4	3_6	80	335	150	<20	2	4	2	4	1m/3	2
3	3_6	83	336	150	<20	2	4	2	4	1m/3	2
4	6_9	90	339	150	<20	1	4	2	4	1m/2	2
3	6_9	59	280	150	<20	2	4	2	3	1m/3	2
4	6_9	84	315	150	<20	2	3	2	3	1m/5	2
5	9_10	65	335	150	<20	1	3	1	4	1m/5	2

Anexo 05. Caracterización de macizos estación 04 hastial izquierdo y derecho

CARACTERIZACION DE MACIZOS											
PROYECTO: MARIA						LEVANTADO POR: RENE MAURO MAMANI LARICO					
UBICACIÓN: UNIDAD ECONOMICA ADMINISTRATIVA ANA MARIA I Y IV									FECHA: 07/02/2019		
REGISTRO LINEAL: HASTIAL IZQUIERDO ESTACION 04											
ESTUDIO: GEOTECNICO				TIPO DE ROCA: PIZARRA				HOJA DE CAMPO			
EXCAVACION		CONDICIONES DE EXPOSICION									
Inclinac.	Azimut										
N° DISCONTINUIDAD	Distancia	Orientacion discontinuidad	Resist. (MPa)	Long. (m)	Abertura (mm)	Rugosidad	Relleno	Alteracion	Agua	N° de fracturas	Tipo
3	0-3	78	348	150	<20	1	4	3	3	1m/5	2
3	0-3	79	345	150	<20	4	4	2	3	1m/7	2
2	0-3	76	14	120	<20	2	4	2	3	1m/11	2
3	3_6	74	56	120	<20	1	4	1	3	1m/9	2
4	3_6	71	34	120	<20	1	3	2	3	1m/8	2
3	3_6	71	67	90	<20	5	3	3	4	1m/12	2
5	6_9	85	181	150	<20	2	3	2	4	1m/4	2
3	6_9	81	63	120	<20	2	3	2	4	1m/9	2
4	6_9	84	85	120	<20	3	3	2	4	1m/9	2
6	9_10	88	163	120	<20	3	4	2	4	1m/8	2

FUENTE: elaboración propia del tesista

CARACTERIZACION DE MACIZOS											
PROYECTO: MARIA						LEVANTADO POR: RENE MAURO MAMANI LARICO					
UBICACIÓN: UNIDAD ECONOMICA ADMINISTRATIVA ANA MARIA I Y IV									FECHA: 07/02/2019		
REGISTRO LINEAL: HASTIAL DERECHO ESTACION 04											
ESTUDIO: GEOTECNICO				TIPO DE ROCA: PIZARRA				HOJA DE CAMPO			
EXCAVACION		CONDICIONES DE EXPOSICION									
Inclinac.	Azimut										
N° DISCONTINUIDAD	Distancia	Orientacion discontinuidad	Resist. (MPa)	Long. (m)	Abertura (mm)	Rugosidad	Relleno	Alteracion	Agua	N° de fracturas	Tipo
4	0-3	81	334	150	<20	2	4	2	4	1m/11	2
2	0-3	74	55	120	<20	2	4	2	3	1m/9	2
4	0-3	82	340	120	<20	2	4	2	4	1m/8	2
3	3_6	90	241	120	<20	2	4	2	4	1m/10	2
3	3_6	61	312	90	<20	2	3	2	4	1m/11	2
4	3_6	78	320	120	<20	2	4	2	4	1m/15	2
4	6_9	68	280	150	<20	3	3	2	4	1m/9	2
4	6_9	76	14	120	<20	2	1	2	4	1m/10	2
5	6_9	47	251	150	<20	1	4	2	4	1m/15	2
5	9_10	78	270	120	<20	3	4	2	4	1m/7	2

Anexo 06. Caracterización de macizos estación 05 hastial izquierdo y derecho

CARACTERIZACION DE MACIZOS												
PROYECTO: MARIA						LEVANTADO POR: RENE MAURO MAMANI LARICO						
UBICACIÓN: UNIDAD ECONOMICA ADMINISTRATIVA ANA MARIA I Y IV									FECHA:06/02/2019			
REGISTRO LINEAL: LADO IZQUIERDO ESTACION 05												
ESTUDIO: GEOTECNICO				TIPO DE ROCA: PIZARRA				HOJA DE: CAMPO				
EXCAVACION		CONDICIONES DE EXPOSICION										
Inclinac.	Azimit											
N° DISCONTINUIDAD	Distancia	Orientacion discontinuidad	Resist. (MPa)	Long. (m)	Abertura (mm)	Rugosidad	Relleno	Alteracion	Agua	N° de fracturas	Tipo	
												Interseccion de la discontinuidad
5	0-3	76	275	150	<20	3	3	2	3	3	1m/5	2
5	0-3	73	345	150	<20	3	3	2	3	4	1m/4	2
5	0-3	75	330	150	<20	3	3	3	3	4	1m/5	2
3	3_6	86	279	150	<20	3	3	2	3	3	1m/2	2
6	3_6	65	310	150	<20	3	4	2	3	3	1m/1	2
4	3_6	85	344	150	<20	3	4	2	3	3	1m/2	2
5	6_9	80	308	150	<20	2	4	3	3	3	1m/2	2
4	6_9	76	339	150	<20	3	4	2	3	3	1m/3	2
3	6_9	85	265	150	<20	3	4	2	3	4	1m/1	2
3	9_10	88	345	150	<20	4	3	3	3	3	1m/1	2

FUENTE: elaboración propia del tesista

CARACTERIZACION DE MACIZOS												
PROYECTO: MARIA						LEVANTADO POR: RENE MAURO MAMANI LARICO						
UBICACIÓN: UNIDAD ECONOMICA ADMINISTRATIVA ANA MARIA I Y IV									FECHA:06/02/2019			
REGISTRO LINEAL: LADO DERECHO ESTACION 05												
ESTUDIO: GEOTECNICO				TIPO DE ROCA: PIZARRA				HOJA DE: CAMPO				
EXCAVACION		CONDICIONES DE EXPOSICION										
Inclinac.	Azimit											
N° DISCONTINUIDAD	Distancia	Orientacion discontinuidad	Resist. (MPa)	Long. (m)	Abertura (mm)	Rugosidad	Relleno	Alteracion	Agua	N° de fracturas	Tipo	
												Interseccion de la discontinuidad
3	0-3	63	357	150	<20	3	3	3	3	4	1m/2	2
3	0-3	79	344	150	<20	4	4	3	3	3	0	2
3	0-3	87	11	150	<20	3	4	2	3	3	0	2
4	3_6	76	245	150	<20	3	3	3	3	3	1m/1	2
3	3_6	56	315	150	<20	3	4	3	3	3	1m/1	2
3	3_6	76	229	150	<20	1	4	1	3	3	0	2
4	6_9	81	265	150	<20	3	4	2	3	3	0	2
3	6_9	86	265	150	<20	3	4	3	3	3	0	2
2	6_9	81	334	150	<20	3	4	2	3	3	1m/5	2
3	9_10	71	0	150	<20	3	3	2	3	3	1m/1	2

Anexo 07. Caracterización de macizos estación 06 hastial izquierdo y derecho

CARACTERIZACION DE MACIZOS												
PROYECTO: MARIA						LEVANTADO POR: RENE MAURO MAMANI LARICO						
UBICACIÓN: UNIDAD ECONOMICA ADMINISTRATIVA ANA MARIA I Y IV									FECHA: 05/02/2019			
REGISTRO LINEAL: HASTIAL IZQUIERDO ESTACION 06												
ESTUDIO: GEOTECNICO						TIPO DE ROCA: PIZARRA			HOJA DE CAMPO			
EXCAVACION		CONDICIONES DE EXPOSICION										
Inclinac.	Azimit											
N° DISCONTINUIDAD	Distancia	Orientacion discontinuidad	Resist. (MPa)	Long. (m)	Abertura (mm)	Rugosidad	Relleno	Alteracion	Agua	N° de fracturas	Tipo	
	Interseccion de la discontinuidad	BUZAMIENTO	DIRECCION DE BUZAMIENTO	Compresion Uniaxial	Longitud de la Trazo	1. Cerrada 2. Angosta < 0.1 mm. 3. Moderada 0.1-1 mm. 4. Amplio 1-5 mm. 5. Muy Amplio > 5 mm.	1. Suave 2. Ondulada 3. Liger. Rugosa 4. Rugosa 5. Muy rugosa	1. Ninguno 2. Relleno duro <5mm 3. Relleno duro >5mm 4. Rell. Blando <5mm 5. Rell. Blando >5mm	1. Inalterada 2. Ligera 3. Moderada 4. Muy alterada 5. Descompuesta	1. Seco 2. Ligeram. humedo 3. Humedo 4. Gotearo 5. Agua fluyendo	Fractura / metro lineal	1. Falla 2. Estratificacion 3. Tension (juntas) 4. Corte 5. Otros (indicar)
6	0-3	81	265	150	<20m	3	4	1	3	3	1m/3	2
6	0-3	82	270	150	<20m	4	4	2	3	3	1m/3	2
6	0-3	85	268	150	<20m	2	4	1	3	3	1m/3	2
6	0-3	89	280	150	<20m	3	4	2	3	3	1m/5	2
6	0-3	78	290	150	<20m	2	4	1	3	3	1m/1	2
11	3-6	88	330	150	<20m	2	1	1	3	3	1m/2	2
6	3-6	86	301	150	<20m	3	3	2	3	3	1m/8	2
5	3-6	90	300	150	<20m	2	3	2	3	3	1m/5	2
5	6-9	78	310	150	<20m	2	3	2	3	3	1m/4	2
1	6-9	10	268	150	<20m	1	3	2	3	3	1m/5	2
2	6-9	87	301	150	<20m	2	3	2	3	3	1m/3	2
4	9-10	90	255	150	<20m	2	3	2	3	3	1m/6	2

FUENTE: elaboración propia del tesista

CARACTERIZACION DE MACIZOS												
PROYECTO: MARIA						LEVANTADO POR: RENE MAURO MAMANI LARICO						
UBICACIÓN: UNIDAD ECONOMICA ADMINISTRATIVA ANA MARIA I Y IV									FECHA: 05/02/2019			
REGISTRO LINEAL: LADO DERECHO ESTACION 06												
ESTUDIO: GEOTECNICO						TIPO DE ROCA: PIZARRA			HOJA DE CAMPO			
EXCAVACION		CONDICIONES DE EXPOSICION										
Inclinac.	Azimit											
N° DISCONTINUIDAD	Distancia	Orientacion discontinuidad	Resist. (MPa)	Long. (m)	Abertura (mm)	Rugosidad	Relleno	Alteracion	Agua	N° de fracturas	Tipo	
	Interseccion de la discontinuidad	BUZAMIENTO	DIRECCION DE BUZAMIENTO	Compresion Uniaxial	Longitud de la Trazo	1. Cerrada 2. Angosta < 0.1 mm. 3. Moderada 0.1-1 mm. 4. Amplio 1-5 mm. 5. Muy Amplio > 5 mm.	1. Suave 2. Ondulada 3. Liger. Rugosa 4. Rugosa 5. Muy rugosa	1. Ninguno 2. Relleno duro <5mm 3. Relleno duro >5mm 4. Rell. Blando <5mm 5. Rell. Blando >5mm	1. Inalterada 2. Ligera 3. Moderada 4. Muy alterada 5. Descompuesta	1. Seco 2. Ligeram. humedo 3. Humedo 4. Gotearo 5. Agua fluyendo	Fractura / metro lineal	1. Falla 2. Estratificacion 3. Tension (juntas) 4. Corte 5. Otros (indicar)
2	0-3	80	280	150	<20m	2	4	2	4	4	1m/4	2
5	0-3	90	0	150	<20m	2	2	2	4	4	1m/1	2
4	0-3	10	72	150	<20m	1	2	1	4	4	1m/1	2
5	3-6	81	300	150	<20m	2	3	2	4	4	1m/8	2
5	3-6	81	295	150	<20m	2	3	2	4	4	1m/6	2
5	3-6	52	330	150	<20m	2	4	2	3	3	1m/2	2
3	6-9	42	300	150	<20m	2	3	2	3	3	1m/1	2
2	6-9	79	280	150	<20m	2	3	2	3	3	1m/1	2
4	6-9	50	345	150	<20m	2	3	2	3	2	1m/5	2
6	9-10	56	290	150	<20m	2	3	2	2	2	1m/5	2

Anexo 08. RMR estación 01 hastial izquierdo y derecho

CLASIFICACION GEOMECANICA RMR																		
PROYECTO: MARIA										CALCULADO POR: RENE MAURO MAMANI LARICO								
UBICACIÓN: UNIDAD ECONOMICA ADMINISTRATIVA ANA MARIA I Y IV																		
ORIENTACION DEL REGISTRO LINEAL : AZIMUT N15°E										FECHA:14/02/2019								
ESTUDIO GEOTECNICO										TIPO DE ROCA: PIZARRA								
TRAMO	RESISTENCIA			RQD			ESPACIAMIENTO			CONDICION DE JUNTAS					AGUA FREATICA			RMR/TRAMO
	σC	PTJE	%	PTJE	mm	PTJE	PUNTUACION					ESTADO	PTJE	RMR				
							LONG.	ABERT.	RUGOS.	RELL.	ALT.				TOTAL			
0_1	150	12	68	13	1000	17	4	5	3	4	3	19	3	7	68			
1_2	150	12	68	13	1000	17	2	3	5	2	3	15	3	7	64	64		
2_3	150	12	57	13	500	13	4	3	3	2	3	15	3	7	60			
3_4	150	12	89	17	1000	17	4	3	3	4	3	17	3	7	70			
4_5	150	12	57	13	1000	17	2	3	5	2	3	15	3	7	64	67		
5_6	150	12	79	17	1000	17	4	3	3	4	3	17	4	4	67			
6_7	150	12	57	13	330	13	4	3	5	2	1	15	3	7	60			
7_8	150	12	68	13	1000	17	4	3	5	2	1	15	4	4	61	60		
6_9	150	12	68	13	500	13	4	6	5	2	1	18	4	4	60			
9_10	150	12	57	13	1000	17	4	3	3	2	1	13	4	4	59	59		
																63		

CLASIFICACION GEOMECANICA RMR																		
PROYECTO: MARIA										CALCULADO POR: RENE MAURO MAMANI LARICO								
UBICACIÓN: UNIDAD ECONOMICA ADMINISTRATIVA ANA MARIA I Y IV																		
ORIENTACION DEL REGISTRO LINEAL : AZIMUT N15°E										FECHA:14/02/2019								
ESTUDIO GEOTECNICO										TIPO DE ROCA: PIZARRA								
TRAMO	RESISTENCIA			RQD			ESPACIAMIENTO			CONDICION DE JUNTAS					AGUA FREATICA			RMR/TRAMO
	σC	PTJE	%	PTJE	mm	PTJE	PUNTUACION					ESTADO	PTJE	RMR				
							LONG.	ABERT.	RUGOS.	RELL.	ALT.				TOTAL			
0_1	150	12	57	13	1000	15	6	5	3	4	5	23	4	4	67			
1_2	150	12	68	13	1000	15	4	5	3	4	3	19	3	7	66	64		
2_3	150	12	78	17	500	10	2	3	3	2	3	13	3	7	59			
3_4	150	12	57	13	1000	15	2	3	5	4	3	17	3	7	64			
4_5	150	12	57	13	500	10	2	6	3	4	3	18	3	7	60	63		
5_6	150	12	57	13	1000	15	4	5	3	4	3	19	3	7	66			
6_7	150	12	47	6	200	8	4	5	1	4	3	17	4	4	47			
7_8	150	12	68	13	142	8	6	3	5	4	3	21	3	7	61	54		
8_9	150	12	57	13	142	8	2	5	5	4	1	17	4	4	54			
9_10	150	12	57	13	167	8	2	5	3	4	1	15	4	4	52	52		
																58		

FUENTE: elaboración propia del tesista

Anexo 09. RMR estación 02 hastial izquierdo y derecho

CLASIFICACION GEOMECANICA RMR																			
PROYECTO: MARIA										CALCULADO POR: RENE MAURO MAMANI LARICO									
UBICACIÓN: UNIDAD ECONOMICA ADMINISTRATIVA ANA MARIA I Y IV																			
ORIENTACION DEL REGISTRO LINEAL : AZIMUT N356°E										FECHA: 13/02/2019									
ESTUDIO GEOTECNICO										TIPO DE ROCA: PIZARRA							HOJA DE: 03		
TRAMO	RESISTENCIA			RQD			ESPACIAMIENTO			CONDICION DE JUNTAS				AGUA FREATICA			RMR/TRAMO		
	σC	PTJE	%	PTJE	mm	PTJE	PUNTUACION						ESTADO	PTJE	RMR				
							LONG.	ABERT.	RUGOS.	RELL.	ALT.	TOTAL							
0_1	150	12	67	13	1000	15	2	1	5	4	1	13	4	4	57				
1_2	150	12	78	17	500	10	2	5	5	4	1	17	4	4	60	58			
2_3	150	12	47	6	1000	15	6	5	5	4	1	21	4	4	58				
3_4	150	12	57	13	1000	15	2	1	5	2	1	11	4	4	55				
4_5	150	12	57	13	1000	15	2	5	5	4	1	17	4	4	61	59			
5_6	150	12	57	13	1000	15	2	5	5	4	1	17	4	4	61				
6_7	150	12	47	6	1000	15	6	5	5	4	1	21	4	4	58				
7_8	150	12	57	13	1000	15	4	5	5	4	1	19	4	4	63	57			
8_9	150	12	67	13	250	10	2	1	5	2	1	11	4	4	50				
9_10	150	12	67	13	1000	15	2	5	5	2	1	15	4	4	59	59			
																58			

CLASIFICACION GEOMECANICA RMR																			
PROYECTO: MARIA										CALCULADO POR: RENE MAURO MAMANI LARICO									
UBICACIÓN: UNIDAD ECONOMICA ADMINISTRATIVA ANA MARIA I Y IV																			
ORIENTACION DEL REGISTRO LINEAL : AZIMUT N356°E										FECHA: 13/02/2019									
ESTUDIO GEOTECNICO										TIPO DE ROCA: PIZARRA							HOJA DE: 04		
TRAMO	RESISTENCIA			RQD			ESPACIAMIENTO			CONDICION DE JUNTAS				AGUA FREATICA			RMR/TRAMO		
	σC	PTJE	%	PTJE	mm	PTJE	PUNTUACION						ESTADO	PTJE	RMR				
							LONG.	ABERT.	RUGOS.	RELL.	ALT.	TOTAL							
0_1	150	12	68	13	500	10	2	3	5	2	1	13	4	4	52				
1_2	150	12	57	13	200	10	2	3	5	2	1	13	4	4	52	52			
2_3	150	12	57	13	500	10	2	3	5	2	1	13	4	4	52				
3_4	150	12	68	13	200	10	4	3	5	2	1	15	4	4	54				
4_5	150	12	57	13	333	10	2	3	5	2	1	13	4	4	52	53			
5_6	150	12	57	13	333	10	2	3	5	2	1	13	4	4	52				
6_7	150	12	79	17	333	10	1	3	5	2	1	12	4	4	55				
7_8	150	12	68	13	1000	15	4	5	3	4	3	19	3	7	66	61			
8_9	150	12	68	13	1000	15	4	3	5	4	1	17	4	4	61				
9_10	150	12	79	17	333	15	4	3	5	2	1	15	4	4	63	63			
																57			

FUENTE: elaboración propia del tesista

Anexo 10. RMR estación 03 hastial izquierdo y derecho

CLASIFICACION GEOMECANICA RMR																	
PROYECTO: MARIA										CALCULADO POR: RENE MAURO MAMANI LARICO							
UBICACIÓN: UNIDAD ECONOMICA ADMINISTRATIVA ANA MARIA I Y IV																	
ORIENTACION DEL REGISTRO LINEAL : AZIMUT N355°E										FECHA: 12/02/2019							
ESTUDIO GEOTECNICO										TIPO DE ROCA: PIZARRA							
TRAMO	RESISTENCIA			RQD			ESPACIAMIENTO			CONDICION DE JUNTAS				AGUA FREATICA			RMR/TRAMO
	σC	PTJE	%	PTJE	mm	PTJE	PUNTUACION						ESTADO	PTJE	RMR		
							LONG.	ABERT.	RUGOS.	RELL.	ALT.	TOTAL					
0_1	150	12	57	13	250	10	6	5	5	4	3	23	3	7	65		
1_2	150	12	89	17	333	10	4	5	5	4	3	21	4	4	64	64	
2_3	150	12	79	17	500	10	4	5	5	4	3	21	4	4	64		
3_4	150	12	47	6	1000	15	2	5	5	4	1	17	4	4	54		
4_5	150	12	68	13	1000	15	2	5	5	4	3	19	4	4	63	60	
5_6	150	12	79	17	500	10	4	5	3	4	3	19	4	4	62		
6_7	150	12	68	13	1000	15	2	5	3	4	3	17	4	4	61		
7_8	150	12	57	13	333	10	4	5	5	4	3	21	3	7	63	64	
8_9	150	12	57	13	1000	15	4	5	5	4	3	21	3	7	68		
9_10	150	12	79	17	1000	15	2	5	3	4	3	17	3	7	68	68	
																64	

CLASIFICACION GEOMECANICA RMR																	
PROYECTO: MARIA										CALCULADO POR: RENE MAURO MAMANI LARICO							
UBICACIÓN: UNIDAD ECONOMICA ADMINISTRATIVA ANA MARIA I Y IV																	
ORIENTACION DEL REGISTRO LINEAL : AZIMUT N355°E										FECHA: 12/02/2019							
ESTUDIO GEOTECNICO										TIPO DE ROCA: PIZARRA							
TRAMO	RESISTENCIA			RQD			ESPACIAMIENTO			CONDICION DE JUNTAS				AGUA FREATICA			RMR/TRAMO
	σC	PTJE	%	PTJE	mm	PTJE	PUNTUACION						ESTADO	PTJE	RMR		
							LONG.	ABERT.	RUGOS.	RELL.	ALT.	TOTAL					
0_1	150	12	68	13	1000	15	4	6	5	6	3	24	3	7	71		
1_2	150	12	57	13	1000	15	4	5	5	4	3	21	3	7	68	69	
2_3	150	12	79	17	1000	15	4	5	5	4	3	21	4	4	69		
3_4	150	12	57	13	1500	15	4	5	5	4	1	19	4	4	63		
4_5	150	12	57	13	500	10	2	5	5	4	3	19	4	4	58	59	
5_6	150	12	68	13	500	10	2	5	5	4	1	17	4	4	56		
6_7	150	12	57	13	1000	15	4	6	5	4	1	20	4	4	64		
7_8	150	12	68	13	500	10	4	5	5	4	3	21	3	7	63	61	
8_9	150	12	57	13	250	10	2	5	3	4	1	15	3	7	57		
9_10	150	12	47	6	250	10	6	6	3	6	3	24	4	4	56	56	
																61	

FUENTE: elaboración propia del tesista

Anexo 11. RMR estación 04 hastial izquierdo y derecho

CLASIFICACION GEOMECHANICA RMR																
PROYECTO: MARIA										CALCULADO POR: RENE MAURO MAMANI LARICO						
UBICACIÓN: UNIDAD ECONOMICA ADMINISTRATIVA ANA MARIA I Y IV																
ORIENTACION DEL REGISTRO LINEAL : AZIMUT N10°E										FECHA: 07/02/2019						
ESTUDIO GEOTECNICO										TIPO DE ROCA: PIZARRA						
TRAMO	RESISTENCIA RQD			ESPACIAMIENTO			CONDICION DE JUNTAS						AGUA FREATICA		RMR/TRAMO	
	$\sigma_C$	PTJE	%	PTJE	mm	PTJE	PUNTUACION						ESTADO	PTJE		RMR
							LONG.	ABERT.	RUGOS.	RELL.	ALT.	TOTAL				
0_1	150	12	68	13	250	10	6	6	5	2	3	22	3	7	64	
1_2	150	12	68	13	166	8	4	1	5	4	3	17	2	10	60	
2_3	120	12	79	17	100	8	2	5	5	4	3	19	3	7	63	
3_4	120	12	68	13	125	8	4	6	5	6	3	24	3	7	64	
4_5	120	12	57	13	143	8	4	6	3	4	3	20	4	4	57	
5_6	90	7	68	13	91	8	2	0	3	3	3	11	4	4	43	
6_7	150	12	47	6	333	10	2	5	3	4	3	17	4	4	49	
7_8	120	12	68	13	125	8	6	5	3	4	3	21	4	4	58	
8_9	120	12	57	13	125	8	4	3	3	4	3	17	4	4	54	
9_10	120	12	38	13	143	8	4	3	5	4	3	19	4	4	56	
															57	

CLASIFICACION GEOMECHANICA RMR																
PROYECTO: MARIA										CALCULADO POR: RENE MAURO MAMANI LARICO						
UBICACIÓN: UNIDAD ECONOMICA ADMINISTRATIVA ANA MARIA I Y IV																
ORIENTACION DEL REGISTRO LINEAL : AZIMUT N10°E										FECHA: 07/02/2019						
ESTUDIO GEOTECNICO										TIPO DE ROCA: PIZARRA						
TRAMO	RESISTENCIA RQD			ESPACIAMIENTO			CONDICION DE JUNTAS						AGUA FREATICA		RMR/TRAMO	
	$\sigma_C$	PTJE	%	PTJE	mm	PTJE	PUNTUACION						ESTADO	PTJE		RMR
							LONG.	ABERT.	RUGOS.	RELL.	ALT.	TOTAL				
0_1	150	12	57	13	100	8	2	5	5	4	3	19	4	4	56	
1_2	120	12	79	17	125	8	2	5	5	4	3	19	3	7	63	
2_3	120	12	57	13	143	8	2	5	5	4	3	19	4	4	56	
3_4	120	12	68	13	111	8	2	5	5	4	3	19	4	4	56	
4_5	90	7	68	13	100	8	4	5	3	4	3	19	4	4	51	
5_6	120	12	57	13	71	8	2	5	5	4	3	19	4	4	56	
6_7	150	12	57	13	125	8	2	3	3	4	3	15	4	4	52	
7_8	120	12	57	13	111	8	2	5	0	4	3	14	4	4	51	
8_9	150	12	47	6	71	8	2	6	5	4	3	20	4	4	50	
9_10	120	12	47	6	167	8	2	3	5	4	3	17	4	4	47	
															53	

FUENTE: elaboración propia del tesista

Anexo 12. RMR estación 05 hastial izquierdo y derecho

CLASIFICACION GEOMECANICA RMR															
PROYECTO: MARIA										CALCULADO POR: RENE MAURO MAMANI LARICO					
UBICACIÓN: UNIDAD ECONOMICA ADMINISTRATIVA ANA MARIA I Y IV															
ORIENTACION DEL REGISTRO LINEAL : AZIMUT N35°E										FECHA:06/02/2019					
ESTUDIO GEOTECNICO					TIPO DE ROCA: PIZARRA					HOJA DE: 05					
TRAMO	RESISTENCIA			ESPACIAMIENTO			CONDICION DE JUNTAS						AGUA FREATICA		RMR/TRAMO
	$\sigma_c$	PTJE	%	PTJE	mm	PTJE	LONG.	ABERT.	RUGOS.	RELL.	ALT.	TOTAL	ESTADO	PTJE	
0_1	150	12	47	6	250	10	4	3	3	4	3	17	3	7	52
1_2	150	12	47	6	333	10	4	3	3	4	3	17	4	4	49
2_3	150	12	47	6	250	10	4	3	3	2	3	15	4	4	47
3_4	150	12	68	13	1000	15	4	3	3	4	3	17	3	7	64
4_5	150	12	38	6	1000	15	2	3	5	4	5	19	3	7	59
5_6	150	12	57	13	1000	15	2	3	5	4	3	17	3	7	64
6_7	150	12	47	6	1000	15	4	5	5	2	3	19	3	7	59
7_8	150	12	57	13	500	10	2	3	5	2	3	15	3	7	57
8_9	150	12	68	13	1000	15	1	3	5	2	3	14	4	4	58
9_10	150	12	68	13	1000	15	4	1	3	2	3	13	3	7	60
															57

CLASIFICACION GEOMECANICA RMR															
PROYECTO: MARIA										CALCULADO POR: RENE MAURO MAMANI LARICO					
UBICACIÓN: UNIDAD ECONOMICA ADMINISTRATIVA ANA MARIA I Y IV															
ORIENTACION DEL REGISTRO LINEAL : AZIMUT N35°E										FECHA:06/02/2019					
ESTUDIO GEOTECNICO					TIPO DE ROCA: PIZARRA					HOJA DE: 05					
TRAMO	RESISTENCIA			ESPACIAMIENTO			CONDICION DE JUNTAS						AGUA FREATICA		RMR/TRAMO
	$\sigma_c$	PTJE	%	PTJE	mm	PTJE	LONG.	ABERT.	RUGOS.	RELL.	ALT.	TOTAL	ESTADO	PTJE	
0_1	150	12	68	13	1000	15	2	3	5	2	3	15	4	4	59
1_2	150	12	68	13	1000	15	2	1	5	2	3	13	3	7	60
2_3	150	12	68	13	1000	15	4	3	5	4	3	19	3	7	66
3_4	150	12	57	13	1000	15	4	3	3	2	3	15	3	7	62
4_5	150	12	68	13	1000	15	4	3	5	2	3	17	3	7	64
5_6	150	12	68	13	1000	15	6	6	5	6	3	26	3	7	73
6_7	150	12	57	13	1000	15	4	3	5	4	3	19	3	7	66
7_8	150	12	68	13	1000	15	2	3	5	2	3	15	3	7	62
8_9	150	12	79	17	250	10	2	3	5	4	3	17	3	7	63
9_10	150	12	68	13	1000	15	2	3	3	4	3	15	3	7	62
															64

FUENTE: elaboración propia del tesista

Anexo 13. RMR estación 06 hastial izquierdo y derecho

CLASIFICACION GEOMECANICA RMR																	
PROYECTO: MARIA										CALCULADO POR: RENE MAURO MAMANI LARICO							
UBICACIÓN: UNIDAD ECONOMICA ADMINISTRATIVA ANA MARIA I Y IV																	
ORIENTACION DEL REGISTRO LINEAL : AZIMUT N351°E										FECHA:05/02/2019							
ESTUDIO GEOTECNICO										TIPO DE ROCA: PIZARRA							
TRAMO	RESISTENCIA			RQD			ESPACIAMIENTO			CONDICION DE JUNTAS				AGUA FREATICA			RMR/TRAMO
	σC	PTJE	%	PTJE	mm	PTJE	PUNTUACION						ESTADO	PTJE	RMR		
							LONG.	ABERT.	RUGOS.	RELL.	ALT.	TOTAL					
0_1	150	12	68	13	500	10	4	3	5	6	5	23	3	7	65		
1_2	150	12	68	13	500	10	4	1	5	4	3	17	3	7	59	63	
2_3	150	12	68	13	500	10	4	5	5	6	3	23	3	7	65		
3_4	150	12	68	13	250	10	4	3	5	4	3	19	3	7	61		
4_5	150	12	68	13	1000	15	4	5	5	6	3	23	3	7	70	67	
5_6	150	12	79	17	1000	15	4	5	0	6	3	18	3	7	69		
6_7	150	12	68	13	143	8	4	3	3	4	3	17	3	7	57		
7_8	150	12	79	17	250	10	4	5	3	4	3	19	3	7	65	62	
8_9	150	12	90	17	333	10	4	5	3	4	3	19	3	7	65		
9_10	150	12	79	17	250	10	4	6	3	4	3	20	3	7	66		
10_11	150	12	68	13	500	10	4	5	3	4	3	19	3	7	61	63	
11_12	150	12	57	13	200	10	4	5	3	4	3	19	3	7	61		
																64	

CLASIFICACION GEOMECANICA RMR																	
PROYECTO: MARIA										CALCULADO POR: RENE MAURO MAMANI LARICO							
UBICACIÓN: UNIDAD ECONOMICA ADMINISTRATIVA ANA MARIA I Y IV																	
ORIENTACION DEL REGISTRO LINEAL : AZIMUT N351°E										FECHA:05/02/2019							
ESTUDIO GEOTECNICO										TIPO DE ROCA: PIZARRA							
TRAMO	RESISTENCIA			RQD			ESPACIAMIENTO			CONDICION DE JUNTAS				AGUA FREATICA			RMR/TRAMO
	σC	PTJE	%	PTJE	mm	PTJE	PUNTUACION						ESTADO	PTJE	RMR		
							LONG.	ABERT.	RUGOS.	RELL.	ALT.	TOTAL					
0_1	150	12	79	17	333	10	4	5	5	4	1	19	4	4	62		
1_2	150	12	68	13	1000	15	2	5	1	4	1	13	4	4	57	60	
2_3	150	12	57	13	1000	15	4	6	1	6	1	18	4	4	62		
3_4	150	12	68	13	143	8	4	5	3	4	3	19	4	4	56		
4_5	150	12	68	13	200	8	4	5	3	4	3	19	4	4	56	58	
5_6	150	12	68	13	1000	15	4	3	5	4	3	19	4	4	63		
6_7	150	12	68	13	1000	15	4	5	3	4	5	21	3	7	68		
7_8	150	12	79	17	1000	15	4	5	3	4	3	19	3	7	70	68	
8_9	150	12	57	13	250	10	4	5	3	4	5	21	2	10	66		
9_10	150	12	68	13	250	10	4	5	3	4	5	21	2	10	66	66	
																63	

FUENTE: elaboración propia del tesista

Anexo 14. (RMR) 1989

*Parámetros y rango de valores para la clasificación geomecánica RMR<sub>89</sub>*

Parámetros			Rango de valores						
1	Resistencia de la matriz rocosa (MPa)	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	525 MPa	1-5 MPa	< 1 MPa
	Puntuación		15	12	7	4	2	1	0
2	RQD		90-	75-90%	50-75%	25-50%	25%		
	Puntuación		100	20	17	13	8	3	
3	Espaciado de las discontinuidades		> 2 m	0.6-2 m	0.2-0.6 m	6-20 cm	< 6 cm		
	Puntuación		20	15	10	8	5		
4	Estado de las discontinuidades	Longitud de la discontinuidad	< 1 m	1-3 m	3-10 m	10-20 m	> 20 m		
		Puntuación	6	4	2	1	0		
		Abertura	Nada	< 0.1 mm	0.1-1.0 mm	1-5 mm	> 5 mm		
		Puntuación	6	5	3	1	0		
		Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Ondulada	Suave		
		Valor	6	5	3	1	0		
		Relleno	Ninguno	Relleno duro < 5 mm	Relleno duro > 5 mm	Relleno blando < 5 mm	Relleno blando > 5 mm		
		Puntuación	6	4	2	2	0		
		Alteración	Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadamente alterada	Muy alterada	Descompuesta		
Puntuación	6	5	3	1	0				
5	Agua freática	Relación Pagua / Pprinc	0	0-0.1	0.1-0.2	0.2-0.5	> 0.5		
		Condiciones generales	Completamente secas	Ligeramente húmedas	Húmedas	Goteando	Agua fluyendo		
	Puntuación		15	10	7	4	0		

Fuente: Bieniawski, Z.T. 1976. Rock mass classification in rock engineering. In Exploration for rock engineering, proc. of the symp., (ed. Z.T. Bieniawski) 1, 97-106. Cape Town: Balkema.

## Anexo 15

*Tabla de índice manual de resistencia de la roca (ISRM 1978)*

GRADOS	DESCRIPCION	IDENTIFICACION DE CAMPO	VALOR APROXIMADO DE LA RESISTENCIA A COMPRESION SIMPLE	
			MPa	Kg/cm <sup>2</sup>
R1	ROCA MUY DEBIL	Deleznable bajo golpes del martillo de geólogo, puede rayarse con una navaja	1.0 – 5.0	10 - 50
R2	ROCA DEBIL	Puede rayarse con dificultad con la navaja, se pueden hacer marcas poco profundas golpeando fuertemente con la punta del martillo	5.0 - 25	50 - 250
R3	ROCA MEDIA DEBIL	No se puede rayar con una navaja la muestra en mano, se puede romper con un golpe firme del martillo de geólogo, al impacto la punta del martillo identa hasta 5mm	25 - 50	250 - 500
R4	ROCA DURA	Se necesita más de un golpe con el martillo de geólogo para romper la muestra, sostenidos en la mano se rompe con un simple golpe de martillo	50 - 100	500 - 1000
R5	ROCA MUY DURA	Se necesita muchos golpes con el martillo de geólogo para romper la muestra	100 - 250	1000 - 2500
R6	ROCA EXTREMADAMENTE DURA	El martillo produce solamente descarrilado de la muestra, sonido metálico de golpe	>250	>2500

Anexo 16. GSI basado en observaciones geológicas

(GSI) MODIFICADO						
<p>De los códigos de letra definidos que describen la estructura del macizo rocoso y la condición de las discontinuidades, seleccione el cuadro apropiado es esta tabla. Estime el valor típico del Índice Geológico de Resistencia GSI, de los contornos que muestra la tabla. No trate de obtener un mayor grado de precisión. Indicar un rango de valores para GSI, por ejemplo de 36 a 42, es más realista que indicar un único valor por ejemplo 38.</p>		CONDICIÓN SUPERFICIAL				
ESTRUCTURA		MUY BUENA (extremadamente resistente, fresca) superficie de las discontinuidades muy rugosas e inalteradas, cerradas. (Rc > 250 MPa) (se astilla con golpes de picota)	BUENA (muy resistente, levemente alterada) discontinuidades rugosas, lev. alterada, manchas de oxidación, lig. abierta. (Rc 100 a 250 MPa) (se rompe con varios golpes de picota)	REGULAR (resistente, levemente alterada) discontinuidades lisas, moderadamente alterada, ligeramente abierta. (Rc 50 a 100 MPa) (se rompe con uno o dos golpes de picota)	POBRE (moderadamente resist. moderam. alter.) superficie pulida o con estrías, muy alterada, relleno compacto o con fragmentos de roca. (Rc 25 a 50 MPa). (se indenta superficialmente)	MUY POBRE (blanda, muy alterada) Superficie pulida y estriada, muy abierta, con relleno de arcillas blandas. (Rc < 25 MPa) (se disgrega o indenta superficialmente)
	<p><b>LEVEMENTE FRACTURADA</b> Tres a menos sistemas de discontinuidades muy espaciadas entre sí (RQD 75 - 90%) (2 a 6 fractura por metro) (RQD = 115 - 3.3 Jn)</p>	95	90	85	80	75
	<p><b>MODERADAMENTE FRACTURADA</b> Muy bien trabada, no disturbada, bloques cúbicos formados por tres sistemas de discontinuidades ortogonales. (RQD 50 - 75%) (6 a 12 fracturas por metro)</p>	80	75	70	65	60
	<p><b>MUY FRACTURADA</b> Moderadamente trabada, parcialmente disturbada, bloques angulosos formados por cuatro o más sistemas de discontinuidades. (RQD 25 - 50%) (12 a 20 fracturas por metro)</p>	65	60	55	50	45
	<p><b>INTENSAMENTE FRACTURADA</b> Plegamiento y fallamiento con muchas discontinuidades interceptadas formando bloques angulosos o irregulares. (RQD 0 - 25%) (Más de 20 fracturas por metro)</p>	50	45	40	35	30
	<p><b>TRITURADA O BRECHADA</b> Ligeramente trabada, masa rocosa extremadamente rota con una mezcla de fragmentos fácilmente disgregables, angulosos y redondeados. (Sin RQD)</p>	35	30	25	20	15
		20	15	10	5	0



Anexo 17. informe de laboratorio



**INFORME N°059-2019-LG&MR-FIM-UNA-PUNO**

**\* ENSAYO PROPIEDADES FÍSICAS DE MUESTRAS DE ROCA**

**\* ENSAYO COMPRESIÓN SIMPLE DE NÚCLEOS DE ROCA**

**\* ENSAYO DE TILT TEST DE NÚCLEOS DE ROCA**

**SOLICITADO POR:**

**BACH. RENÉ MAURO MAMANI LARICO.**

**PROYECTO:**

**TESIS: CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA DEL MACIZO ROCOSO PARA EL DISEÑO DE SOSTENIMIENTO DE LA U.E.A. ANA MARÍA 1 Y 4 DE LA CONTRATA MINERA MAURINHO.**

**UBICACIÓN:**

**PLANEAMINETO RITIPATA INFERIOR, U.E.A. ANA MARÍA 1 Y 4 DE LA CONTRATA MINERA MAURINHO, C.P. RINCONADA, DISITRITO DE ANANEA, PROVINCIA DE SAN ANTONIO DE PUTINA, PUNO, PERÚ.**

**MUESTRA:**

**MUESTRA 01**

**FECHA:**

**17 DE OCTUBRE DEL 2019**

**NOTA:**

- La empresa solicitante es responsable por la toma de muestra en campo.
- La información correspondiente a las muestras fue proporcionada por el solicitante.
- Condición de la muestra, preparadas según norma vigente.
- Los resultados presentados son válidos únicamente para las muestras ensayadas.
- Prohibida su reproducción total o parcial de este informe sin la autorización escrita del Laboratorio de Geotecnia & Mecánica de Rocas.
- Los resultados no pueden ser utilizados como certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.



**FEF DE LABORATORIO DE GEOTECNIA & MECÁNICA DE ROCAS  
FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS**



	<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS</b> <b>LABORATORIO DE GEOTECNIA &amp; MECÁNICA DE ROCAS</b>	
--	--	--

**ENSAYO PROPIEDADES FÍSICAS DE MUESTRAS DE ROCA**

**INFORME No** : 059-2019-LG&MR-FIM-UNA-PUNO.  
**REFERENCIA** : ISRM  
**FECHA DE EMISIÓN:** 17 DE OCTUBRE DEL 2019  
**SOLICITADÓ POR** : BACH. BACH. RENÉ MAURÓ MAMANI LARICO  
**PROYECTO** : TESIS: CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA DEL MACIZO ROCOSO PARA EL DISEÑO DE SOSTENIMIENTO DE LA U.E.A. ANA MARÍA 1 Y 4 DE LA CONTRATA MINERA MAURINHO.  
**UBICACIÓN** : RINCONADA  
**MUESTRA** : MUESTRA 01  
**TÉCNICO** : ING. SC. OSCAR A. CAHUANA CONDORI.  
**RESPONSABLE** : MSC. ING. LUCIO QUEA GUTIERREZ

Los ensayos se realizaron según la norma ISRM, obteniéndose los siguientes resultados:

Tara	Peso húmedo (g)	Peso seco (g)	Peso seco + parafina (g)	Peso parafina (g)	Peso sumergido (g)	Densidad parafina (g/cm <sup>3</sup> )	Volumen parafina (cm <sup>3</sup> )	Volumen muestra (cm <sup>3</sup> )	Densidad soca (g/cm <sup>3</sup> )	Porosidad aparente (%)	Peso específico aparente (KN/m <sup>3</sup> )
T-1	357.30	357.00	363.70	6.70	226.50	0.88	7.61	129.59	2.75	0.39	27.01
T-2	237.20	237.00	245.80	8.80	151.30	0.88	10.00	84.50	2.80	0.17	27.50
T-3	327.20	326.90	333.30	6.40	209.40	0.88	7.27	116.63	2.80	0.35	27.49
T-4	333.00	332.50	344.90	12.40	210.90	0.88	14.09	119.91	2.77	0.60	27.19
T-5	258.40	258.20	266.10	7.90	164.30	0.88	8.98	92.82	2.78	0.19	27.28
Número de resultados									5	5	5
Valor máximo, MAX									2.80	0.90	27.50
Valor mínimo, MIN									2.75	0.17	27.01
Mediana, MED									2.78	0.35	27.28
Valor promedio, MEAN									2.78	0.34	27.29
Desviación estándar, SDEV									0.02	0.18	0.21
Coeficiente de variación, CV									-0.33	0.73	-0.33



M.Sc. Ing. Lucio Quea Gutierrez  
 JEFE DE LABORATORIO  
 GEOTECNIA Y MECÁNICA DE ROCAS



**ENSAYO COMPRESIÓN SIMPLE DE NÚCLEOS DE ROCA**

**INFORME No** : 059-2019-LG&MR-FIM-UNA-PUNO.  
**REFERENCIA** : ASTM D 3148, D 2938.  
**FECHA DE EMISIÓN:** 17 DE OCTUBRE DEL 2019  
**SOLICITADO POR** : BACH. BACH. RENÉ MAURÓ MAMANI LARICO  
**PROYECTO** : TESIS: CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA DEL MACIZO ROCOSO PARA EL DISEÑO DE SOSTENIMIENTO DE LA U.E.A. ANA MARÍA 1 Y 4 DE LA CONTRATA MINERA MAURINHO.  
**UBICACIÓN** : RINCONADA.  
**MUESTRA** : MUESTRA 01  
**TÉCNICO** : ING. SC. OSCAR A. CAHUANA CONDORI & ING. SC. IVAN LAURA NIÑA.  
**RESPONSABLE** : MSC. ING. LUCIO QUEA GUTIERREZ

Los ensayos se realizaron según la norma ASTM D 3148, D 2938, obteniéndose los siguientes resultados:

ID	Diametro	Altura	Área	Relacion	Carga	Factor de corrección		UCS	UCS	UCS	Tipo de Rotura	Observaciones
	(cm)	(cm)	(cm <sup>2</sup> )	LD	(Kg-f)	Resistencia (RUTOS) (Kg/cm <sup>2</sup> )	Por diametro (HSA & Brown 1997)	(MPa)	corregido (MPa)	corregido (Kg/cm <sup>2</sup> )		
M-1	5.490	10.076	23.672	1.835	19350.0	0.989	1.019	80.16	80.77	823.61	matriz	01
M-2	5.492	10.244	23.889	1.885	18370.0	0.991	1.019	76.05	76.79	783.08	matriz	02
M-3	5.483	9.974	23.612	1.819	17980.0	0.986	1.019	74.68	75.13	766.14	matriz	03
Numero de resultados								3	3	3		
Valor máximo, MAX								80.16	80.77	823.61		
Valor mínimo, MIN								74.68	75.13	766.14		
Mediana, MED								76.05	76.79	783.08		
Valor promedio, MEAN								76.96	77.57	790.94		
Desviación estándar, SDEV								2.85	2.90	29.53		
Coeficiente de variación, CV								1.29	1.11	1.11		



  
 M.Sc. Ing. Lucio Quea Gutierrez  
 JEFE DE LABORATORIO  
 GEOTECNIA Y MECÁNICA DE ROCAS



FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS  
LABORATORIO DE GEOTECNIA & MECÁNICA DE ROCAS

ENSAYO TILT TEST DE NÚCLEOS DE ROCA

INFORME N° : 059-2019-LG&MR-FIM-UNA-PUNO.  
 REFERENCIA : ISRM, propuesta por Stimpson (1981).  
 FECHA DE EMISIÓN: 17 DE OCTUBRE DEL 2019  
 SÓLICITADO POR : BACH. BACH. RENÉ MAURO MAMANI LARIÑO.  
 PROYECTO : TESIS: CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA DEL MACIZO ROCOSO PARA EL DISEÑO DE SOSTENIMIENTO DE LA U.E.A. ANA MARÍA 1 Y 4 DE LA CONTRATA MINERA MAURINHO.  
 UBICACIÓN : RINCONADA.  
 MUESTRA : MUESTRA 01  
 TÉCNICO : ING. SC. OSCAR A. CAHUANA CONDORI.  
 RESPONSABLE : MSC. ING. LUCIO QUEA GUTIERREZ

Los ensayos se realizaron según el método sugerido de la ISRM, propuesta por Stimpson (1981), obteniéndose los siguientes resultados:

ID - MUESTRA					M-I	
PRUEVA - a01	PRUEVA - a02	PRUEVA - a03	PRUEVA - a04	PRUEVA - a05	PROMEDIO $\alpha$	PROMEDIO CORREGIDO O BASICO
35.5	35	34	33.5	33		
PRUEVA - a06	PRUEVA - a07	PRUEVA - a08	PRUEVA - a09	PRUEVA - a10	34.10	38.02
34	34	35	34	33		



*Lucio Quea*  
 M.Sc. Ing. Lucio Quea Gutiérrez  
 JEFE DE LABORATORIO  
 GEOTECNIA Y MECÁNICA DE ROCAS



FOTOS

ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE EN NUCLEOS DE ROCA

ANTES



DESPÚS



*[Signature]*  
M.Sc. Ing. Leon Quesada  
JEFE DE LABORATORIO  
GEOTECNIA Y MECÁNICA DE ROCAS

## Anexo 18

### *Toma de datos con brújula buzamiento, dirección de buzamiento*



Fuente: elaboración propia del tesista.

## Anexo 19

### *Toma de datos con martillo Smith con golpes en los hastiales*



Fuente: Elaboracion propia del tesista.

## Anexo 20

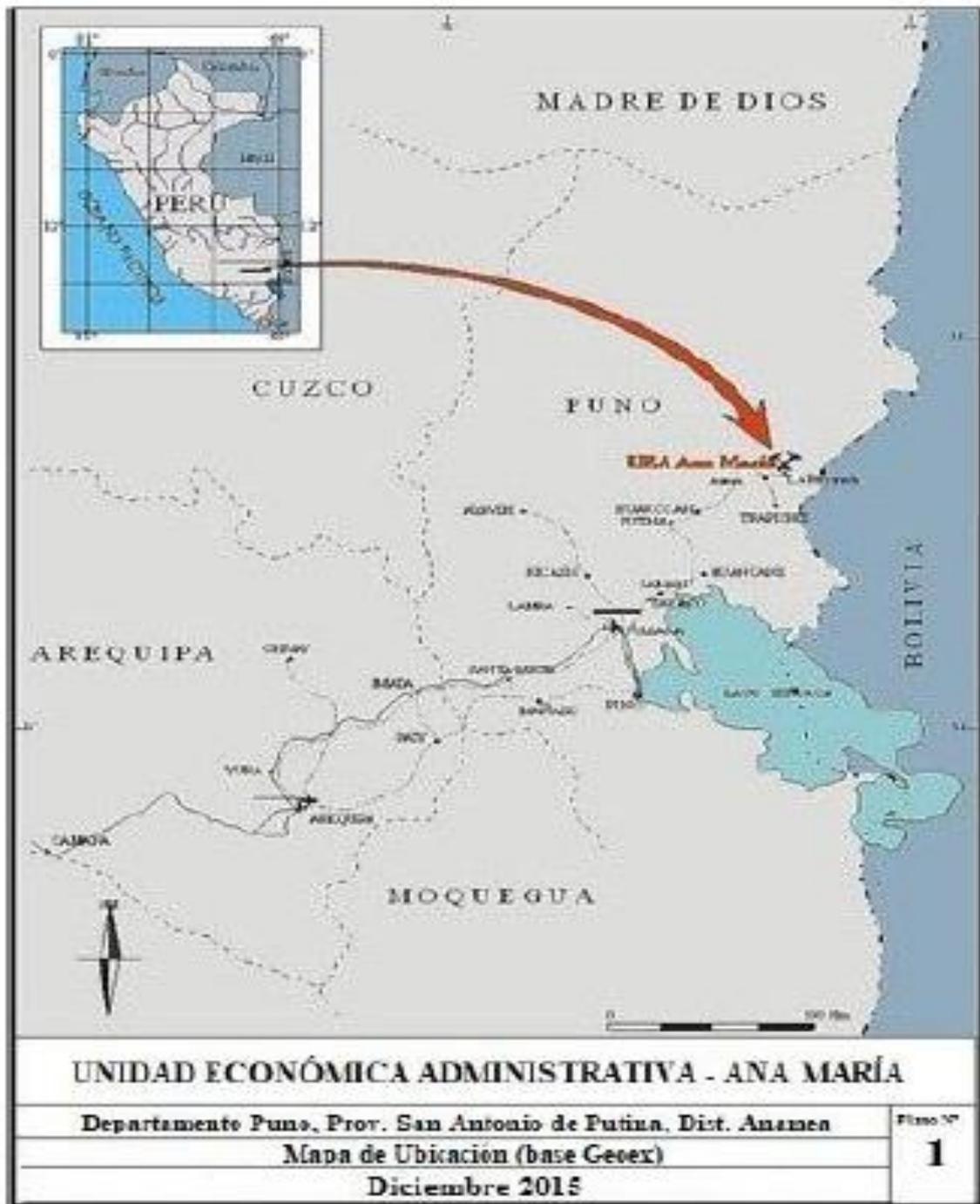
### *Instrumentos geomecánicos*



Fuente: elaboración propia del tesista.

Anexo 21

*Mapa de ubicación*



Fuente: wilberth c. lope (2015) pag. 181 Caracterización Geomecánica del Macizo Rocosó y su Aplicación en el Diseño de Soporte de Sostenimiento en Labores de Desarrollo de la Unidad Económica Administrativa Ana María – la Rinconada.

## Anexo 22

### *Bocamina sarita ingreso al planeamiento Rytty Pata inferior*



Fuente: elaboración propia del tesista.



Anexo 23

*01 plano del proyecto.*

*01 plano representativo.*