



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO DE PUNO

FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



**CALIDAD DEL MACIZO ROCOSO EN INCREMENTO DE LA
CAPACIDAD DE SOPORTE DE SPLIT SET CORRUGADO Y
CARTUCHOS DE CEMENTO RESPECTO A SPLIT SET
CONVENCIONAL EN BY PASS 815NE DE LA UNIDAD MINERA
LAS ÁGUILAS – CIEMSA**

TESIS

PRESENTADA POR

Bach: ERIK CONDORI CAHUI

PARA OPTAR EL TÍTULO DE

INGENIERO DE MINAS

PUNO - PERÚ

2021



DEDICATORIA

A Dios por inundar en mí su infinito amor, luz, sabiduría y acompañarme en cada paso de mi vida dándome las fuerzas para aprender de todos mis errores y superar las dificultades

A mis respetados y amados padres: Patricia y Armando por su guía inacabable y apoyo permanente así también mis hermanos Joseph y Ronith, por estar siempre conmigo y brindarme su aliento continuo.

A mi novia Lily que su ayuda ha sido fundamental estando conmigo en los momentos más turbulentos, motivándome y ayudándome a concluir con éxito este proyecto de tesis.

Erik Condori Cahui



AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios todopoderoso, por ayudarme a forjar mi camino, acompañarme y dirigirme en el sendero correcto.

A mi alma mater, Escuela Profesional Ingeniería de Minas de la Universidad Nacional del Altiplano – Puno, por haberme acogido en sus aulas y por darme la oportunidad de hacerme profesional.

A todos los docentes y personal administrativo de la Escuela Profesional Ingeniería de Minas, quienes guiaron mi formación académica, que hoy constituye el pilar fundamental de mi vida profesional.

De igual modo mi agradecimiento para la Empresa Minera CIEMSA por abrirme sus puertas en sus Unidades Operativas El Cofre, Las Águilas y Tacaza en especial al Ing. Wilmer Aragón quien fortaleció mis conocimientos dándome su apoyo y amistad

Erick Condori Cahui



ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

ÍNDICE GENERAL

INDICE DE TABLAS

INDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

| | |
|----------------------|-----------|
| RESUMEN | 17 |
| ABSTRACT..... | 18 |

CAPITULO I

INTRODUCCION

| | |
|--|-----------|
| 1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA | 19 |
| 1.2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA | 20 |
| 1.2.1.Problema general | 20 |
| 1.2.2.Problemas específicos..... | 20 |
| 1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN. | 21 |
| 1.3.1.Objetivo general. | 21 |
| 1.3.2.Objetivos específicos..... | 21 |
| 1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN..... | 21 |
| 1.5. APLICABILIDAD | 22 |
| 1.6. GENERACIÓN DE NUEVOS CONOCIMIENTOS | 22 |
| 1.7. LIMITACIONES DEL ESTUDIO..... | 22 |
| 1.8. VIABILIDAD DEL ESTUDIO..... | 23 |



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

| | | |
|-------------|--|-----------|
| 2.1. | ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN..... | 24 |
| 2.2. | BASES TEÓRICAS..... | 30 |
| | 2.2.1. Recolección de datos geológicos..... | 30 |
| | 2.2.2. Mapeo de afloramientos. | 31 |
| | 2.2.3 Características de discontinuidades..... | 31 |
| | 2.2.4. Mecánica de rocas en técnicas de exploración..... | 32 |
| | 2.2.5. Evaluación de discontinuidades mayores y menores..... | 34 |
| | 2.2.6. Los anclajes como elemento estabilizador en excavaciones..... | 36 |
| | 2.2.7. Caracterización de la masa rocosa..... | 42 |
| | 2.2.8. Clasificación geomecánica de Z.T. Bieniawski RMR..... | 42 |
| | 2.2.9. Índice Q de Barton..... | 50 |
| 2.3. | CLASIFICACIÓN GSI DE HOEK Y BROWN..... | 52 |
| 2.4. | DEFINICIÓN DE TÉRMINOS..... | 53 |
| | 2.4.1. Características de las rocas..... | 53 |
| | 2.4.2. Planos de debilidad..... | 53 |
| | 2.4.3. Propiedades de las discontinuidades..... | 54 |
| | 2.4.4. Resistencia de la roca. | 55 |
| | 2.4.5. Caracterización de la masa rocosa..... | 56 |
| | 2.4.6. Condiciones de la masa rocosa..... | 56 |
| 2.5. | HIPÓTESIS Y VARIABLES..... | 57 |
| | 2.5.1. Hipótesis general..... | 57 |
| | 2.5.2. Hipótesis específicas..... | 57 |
| | 2.5.3. Variables..... | 57 |



| | |
|-------------------------------------|----|
| 2.5.4. Variable independiente | 57 |
| 2.5.5. Variable dependiente | 57 |

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

| | |
|--|-----------|
| 3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN | 58 |
| 3.2. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN | 59 |
| 3.3. FASES DE LA INVESTIGACIÓN..... | 59 |
| 3.4. POBLACIÓN Y MUESTRA DE INVESTIGACIÓN..... | 60 |
| 3.4.1. Población. | 60 |
| 3.4.2. Muestra. | 60 |
| 3.4.3. Muestreo. | 60 |
| 3.4.4. Cálculo de muestra con población desconocida | 60 |
| 3.4.5. Operación de variables. | 61 |
| 3.4.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos | 61 |
| 3.4.7. Técnicas de análisis de datos. | 61 |
| 3.4.8. Técnicas de procesamiento de la información..... | 64 |
| 3.4.9. Instrumentos. | 64 |
| 3.5. ÁMBITO DE ESTUDIO | 64 |
| 3.5.1. Ubicación..... | 64 |
| 3.5.2. Accesibilidad. | 65 |
| 3.5.3. Clima | 65 |
| 3.5.4. Vegetación. | 65 |
| 3.5.5 Drenaje..... | 66 |
| 3.5.6 Geología..... | 66 |
| 3.5.7. Geomorfología..... | 66 |



| | | |
|-------------|--|-----------|
| 3.6. | LITO ESTRATIGRAFÍA | 67 |
| 3.6.1. | Mesozoico..... | 67 |
| 3.6.2. | Cenozoico | 67 |
| 3.6.3. | Depósitos cuaternarios..... | 68 |
| 3.6.4. | Depósitos Coluvio-morrenicos | 69 |
| 3.6.5. | Depósitos fluvio - morrénicos | 69 |
| 3.6.6. | Geología estructural..... | 70 |
| 3.6.7. | Alteraciones –Mineralización..... | 70 |
| 3.6.8. | Estructuras mineralizadas | 72 |
| 3.7. | RESERVAS MINERALES | 73 |
| 3.7.1. | Reservas minerales de mineral polimetálico. | 73 |
| 3.8. | MÉTODO DE MINADO | 74 |
| 3.8.1. | Ciclo de minado..... | 75 |
| 3.8.2. | Procedimiento y equipos utilizados..... | 76 |
| 3.8.3. | Capacitación en sala y en campo..... | 76 |

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIONES

| | | |
|-------------|--|-----------|
| 4.1. | CALIDAD DEL MACIZO ROCOSO EN BY PASS 815 NE | 78 |
| 4.1.1. | Calidad del macizo rocoso en By Pass 815 NE..... | 78 |
| 4.1.2. | Cuantificación de calidad del macizo rocoso en By Pass 815 NE | 78 |
| 4.1.3. | Mapeo geomecánico en By Pass 815 NE | 78 |
| 4.1.4. | Determinación de Rock Mass Rating (RMR) 1989 en By Pass 815 NE... 82 | |
| 4.1.5. | Resistencia de roca intacta en By Pass 815 NE, progresiva 520 - 529 m . 83 | |
| 4.1.6. | Propiedades físicas | 83 |
| 4.1.7. | Determinación de RQD (Rock Quality Designation)..... | 85 |



| | |
|---|------------|
| 4.1.8. Determinación espaciado de discontinuidades progresiva 520 - 529 m.... | 86 |
| 4.1.9. Condición de las discontinuidades en progresiva 520 - 529 m | 88 |
| 4.1.10. Resultados de RMR Básico | 98 |
| 4.1.11. Resultados de calidad del macizo rocoso de acuerdo a RMR 1989 | 100 |
| 4.1.12. Interpretación de resultados de calidad de macizo rocoso..... | 114 |
| 4.1.13. Demostración de hipótesis 1 | 115 |
| 4.2. DISCUSIONES A LA CALIDAD DEL MACIZO ROCOSO..... | 116 |
| 4.3. DETERMINACIÓN DE ANCLAJE DEL SPLIT SET CONVENCIONAL . | 117 |
| 4.3.1.Resultados obtenidos de capacidad de anclaje de Split set de 5 pies | 124 |
| 4.4. PRUEBA DE PULL TEST EN SPLIT SET CORRUGADOS DE 5 PIES | 127 |
| 4.4.1. Resultados logrados de Split set corrugado de 5 pies..... | 135 |
| 4.5. DEMOSTRACIÓN DE HIPÓTESIS 2..... | 136 |
| 4.6. DISCUSIONES RESPECTO A OBJETIVO ESPECÍFICO 2..... | 137 |
| V. CONCLUSIONES | 140 |
| VI. RECOMENDACIONES | 141 |
| VII. REFERENCIAS..... | 142 |
| ANEXOS..... | 150 |
| Anexo 1. Tablas..... | 150 |
| Anexo 2. Figuras | 153 |

Área: Ingeniería de Minas

Línea: Mecánica de Rocas, Geomecánica y Geotecnia

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 04 de enero del 2021



INDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1. Descripción de grado de meteorización..... | 35 |
| Tabla 2. Resistencia compresiva uniaxial (RCU) en (MPa) de algunas rocas..... | 43 |
| Tabla 3. Valoración de resistencia en MPa..... | 44 |
| Tabla 4. Valor de RQD calculado..... | 45 |
| Tabla 5. Espaciamiento de las discontinuidades..... | 45 |
| Tabla 6. Aberturas de las discontinuidades..... | 46 |
| Tabla 7. Continuidad o persistencia de las discontinuidades..... | 46 |
| Tabla 8. Rugosidad de las discontinuidades. | 46 |
| Tabla 9. Relleno de las discontinuidades..... | 46 |
| Tabla 10. Alteración de las discontinuidades. | 47 |
| Tabla 11. Agua subterránea | 48 |
| Tabla 12. Abaco de descuento por orientación de discontinuidad..... | 48 |
| Tabla 13. Valoración para Túneles, minas y fundaciones. | 49 |
| Tabla 14. Valoración para taludes. | 49 |
| Tabla 15. Calidad del macizo rocoso con relación al Índice RMR 89. | 49 |
| Tabla 16. Valoración de índice de calidad Q..... | 51 |
| Tabla 17. Operacionalización de variables. | 63 |
| Tabla 18. Acceso al proyecto Las Águilas-CIEMSA. | 65 |
| Tabla 19. Valoración de parámetros de resistencia según Bieniawski 1989. | 84 |
| Tabla 20. Valoración de resistencia según familias..... | 84 |
| Tabla 21. Abaco de valoración de RQD según Bieniawski 1989..... | 86 |
| Tabla 22. Valoración de RQD. | 86 |
| Tabla 23. Estadística de espaciado..... | 87 |
| Tabla 24. Abaco de valoración de espaciado según RMR 1989..... | 88 |



| | |
|---|-----|
| Tabla 25. Valoración de espaciado. | 88 |
| Tabla 26. Estadística de persistencia. | 88 |
| Tabla 27. Abaco de valoración de longitud de discontinuidades según RMR 89. | 89 |
| Tabla 28. Valoración de persistencia. | 89 |
| Tabla 29. Estadística de separación o apertura. | 90 |
| Tabla 30. Ábaco de valoración de apertura según RMR 89. | 91 |
| Tabla 31. Valoración de apertura. | 91 |
| Tabla 32. Estadística de rugosidad. | 92 |
| Tabla 33. Abaco de valoración de rugosidad según RMR 89. | 93 |
| Tabla 34. Valoración de rugosidad. | 93 |
| Tabla 35. Estadística de espesor – relleno. | 93 |
| Tabla 36. Ábaco de valoración de relleno según Bieniawski 1989. | 94 |
| Tabla 37. Valoración de relleno. | 94 |
| Tabla 38. Estadística de meteorización. | 95 |
| Tabla 39. Ábaco de valoración de meteorización según Bieniawski 1989. | 96 |
| Tabla 40. Valoración de meteorización. | 96 |
| Tabla 41. Estadística de agua subterránea. | 96 |
| Tabla 42. Ábaco de valoración de agua subterránea según Bieniawski 1989. | 97 |
| Tabla 43. Valoraciones de agua subterránea. | 97 |
| Tabla 44. RMR básico por familia progresiva 520m – 529m en By Pass 815 NE. | 98 |
| Tabla 45. Ábaco de ajuste por orientación de discontinuidades. | 99 |
| Tabla 46. Abaco de ajuste de la valoración por orientación de las discontinuidades. | 99 |
| Tabla 47. Sinopsis de calidad de macizo rocoso en Bypass 815 NE. | 100 |
| Tabla 48. Guía para la excavación y soporte en túneles y obras de ingeniería. | 100 |
| Tabla 49. Valoración del macizo rocoso (R.M.R.) EG – 01 By Pass 815 NE. | 102 |



| | |
|---|-----|
| Tabla 50. Valoración del macizo rocoso (R.M.R.) EG – 02 By Pass 815 NE..... | 102 |
| Tabla 51. Valoración del macizo rocoso (R.M.R.) EG – 03 By Pass 815 NE..... | 104 |
| Tabla 52. Valoración del macizo rocoso (R.M.R.) EG – 04 by pass 815 NE. | 105 |
| Tabla 53. Valoración del macizo rocoso (R.M.R.) EG – 05 By Pass 815 NE..... | 106 |
| Tabla 54. Valoración del macizo rocoso (R.M.R.) EG – 06 By Pass 815 NE..... | 106 |
| Tabla 55. Valoración del macizo rocoso (R.M.R.) EG – 07 by pass 815 NE. | 107 |
| Tabla 56. Valoración del macizo rocoso (R.M.R.) EG – 08 By Pass 815 NE..... | 108 |
| Tabla 57. Valoración del macizo rocoso (R.M.R.) EG – 09 By Pass 815 NE..... | 110 |
| Tabla 58. Valoración del macizo rocoso (R.M.R.) EG – 10 By Pass 815 NE..... | 110 |
| Tabla 59. Valoración del macizo rocoso (R.M.R.) EG – 11 By Pass 815 NE..... | 112 |
| Tabla 60. Valoración del macizo rocoso (R.M.R.) EG – 12 By Pass 815 NE..... | 113 |
| Tabla 61. Categoría del macizo rocoso en By pass 815 NE | 114 |
| Tabla 62. Calidad del macizo rocoso en 12 estaciones geomecánicas | 115 |
| Tabla 63. Equipo técnico en las pruebas de pull test a los Split set..... | 117 |
| Tabla 64. Pull test en Split set convencional de 5 pies de 39.5 mm de diámetro. | 118 |
| Tabla 65. Pull test en Split set de 5 pies convencional con cartucho de cemento. | 119 |
| Tabla 66. Desplazamientos en pernos Split set de 5 pies sin cartucho de cemento | 120 |
| Tabla 67. Desplazamientos en pernos Split set de 5 pies con cartucho de cemento. | 120 |
| Tabla 68. Carga aplicada (t) y capacidad de anclaje (t/pie) en RMR 40 - 45..... | 122 |
| Tabla 69. Carga aplicada (t) y capacidad de anclaje (t/pie) con cartucho de cemento. 123 | |
| Tabla 70. Equipo técnico de las pruebas de Pull test a los Split set corrugados..... | 128 |
| Tabla 71. Pull test de Split set corrugados de 5 pies de 39.5 mm de diámetro..... | 130 |
| Tabla 72. Pull test de Split set corrugados de 5 pies con cartucho de cemento..... | 131 |
| Tabla 73. Desplazamientos y carga en pernos Split set corrugado de 5 pies..... | 132 |
| Tabla 74. Desplazamientos en Split set corrugado con cartucho de cemento. | 132 |



| | |
|---|-----|
| Tabla 75. Pull test de Split set corrugados sin cartuchos de cemento | 133 |
| Tabla 76. Pull test de Split set corrugados con cartucho de cemento. | 134 |
| Tabla 77. Matriz de recolección de datos. | 150 |
| Tabla 78. Matriz de recolección de datos, continuación. | 151 |
| Tabla 79. Matriz de consistencia. | 152 |



INDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1. Descripción de macizo rocoso..... | 30 |
| Figura 2. Estructura del macizo rocoso | 32 |
| Figura 3. Densidad de polos y familias de discontinuidades..... | 36 |
| Figura 4. Roca fractura en portal del túnel, estabilizada con tirantes anclados..... | 37 |
| Figura 5. Techo de la galería soportado mediante bulones. | 38 |
| Figura 6. Perno de fricción Split set. | 39 |
| Figura 7. Sección típica y mecanismo de anclaje de Split set. | 40 |
| Figura 8. Capacidad de anclaje de Split set en función de su longitud efectiva..... | 41 |
| Figura 9. Ábaco para determinar el valor de GSI..... | 52 |
| Figura 10. Diagrama de flujo de calidad del macizo rocoso y capacidad de anclaje | 62 |
| Figura 11. Vista del área de influencia de la Unidad Minera Las Águilas..... | 69 |
| Figura 12. Estructura mineralizada de la Veta Úrsula..... | 72 |
| Figura 13. Mineralización de la Veta Úrsula..... | 73 |
| Figura 14. Ciclo de minado de Unidad Minera Las Águilas-CIEMSA..... | 75 |
| Figura 15. Ubicación de la progresiva 520.00 m - 529.00 m By Pass 815 NE..... | 79 |
| Figura 16. Identificación de discontinuidades en progresiva 520.00 m - 529.00 m..... | 80 |
| Figura 17. Identificación de 4 familias en progresiva 520.00 m - 529.00 m..... | 80 |
| Figura 18. Diagrama de polos y planos progresiva 520.00 m - 529.00 m..... | 81 |
| Figura 19. Diagrama de 4 familias en progresiva 520.00 m - 531.00 m..... | 81 |
| Figura 20. Diagrama de roseta progresiva 520.00 m - 529.00 m..... | 82 |
| Figura 21. Resultados de características físico mecánicas – área de geomecánica. | 84 |
| Figura 22. Histograma de espaciado..... | 87 |
| Figura 23. Histograma de persistencia..... | 89 |
| Figura 24. Histograma de apertura | 90 |



| | |
|---|-----|
| Figura 25. Histograma de rugosidad..... | 92 |
| Figura 26. Histograma de espesor de relleno..... | 94 |
| Figura 27. Histograma de meteorización..... | 95 |
| Figura 28. Histograma de agua subterránea | 97 |
| Figura 29. Histograma de carga aplicada (t) y capacidad de anclaje (t/pie) sin cartucho de cemento en RMR 40 - 45 | 122 |
| Figura 30. Histograma de carga aplicada (t) y capacidad de anclaje (t/pie) con cartucho de cemento en RMR 40 - 45 | 123 |
| Figura 31. Resultado de colocación de Split set de 5 pies..... | 125 |
| Figura 32. Equipo para la instalación de Split set de 5 pies | 125 |
| Figura 33. Manómetro para la lectura de carga aplicada a Split set. (8t) | 126 |
| Figura 34. Proceso de instalación del equipo Pull test para las pruebas y medición de las brocas de perforación. (35mm)..... | 126 |
| Figura 35. Pull test de Split set corrugados de 5 pies de 39.5 mm de diámetro con cartucho de cemento en RMR 40-45. | 133 |
| Figura 36. Pull test de Split set corrugados de 5 pies de 39.5 mm de diámetro con cartucho de cemento en RMR 40-45 | 134 |
| Figura 37. Resultados de las pruebas de arranque de los pernos Split set corrugados de 5 pies de 39.5 mm sin cemento..... | 135 |
| Figura 38. Resultados de las pruebas de arranque de los pernos Split set corrugados de 5 pies de 39.5 mm con cartuchos de cemento..... | 136 |
| Figura 39. Ubicación de la Unidad Minera Las Águilas- CIEMSA..... | 153 |
| Figura 40. Estaciones geomecánicas en Unidad Minera Las Águilas-CIEMSA..... | 154 |
| Figura 41. Certificado de calidad de FORMIN | 155 |
| Figura 42. Certificado de calidad de FORMIN continuación..... | 156 |



| | |
|--|-----|
| Figura 43. Resultado de presencia de cuñas en By Pass 815 NE | 157 |
| Figura 44. Estereografía de cuñas en By Pass 815 NE Unidad Minera Las Águilas .. | 157 |
| Figura 45. Capacitación de correcta instalación de los elementos de sostenimiento .. | 158 |
| Figura 46. Capacitaciones de correcta instalación de los elementos de sostenimiento | 158 |
| Figura 47. Evaluación de malla electrosoldada | 159 |
| Figura 48. Pruebas con el equipo torquímetro a la malla electro soldada | 159 |
| Figura 49. Resultados de las pruebas de arranque de los pernos Split Set de 5 pies... | 160 |
| Figura 50. Cálculo de RQD con Ábaco de Bieniawski 1989 de GEOCONTROL | 160 |
| Figura 51. Estabilizadores de fricción Split set. FORMIN | 161 |



ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

| | |
|----------|---|
| CIEMSA | : Consorcio de Ingenieros Ejecutores Mineros Sociedad Anónima |
| UM | : Unidad Minera |
| JRC | : Coeficiente de rugosidad de la junta |
| RQD | : Rock Quality Designation |
| RMR | : (Rock Mass Rating) |
| Jn | : Índice de fracturación del macizo rocoso |
| Jr | : Índice de rugosidad de las discontinuidades |
| Ja | : Alteración de las discontinuidades |
| Jw | : Coeficiente reductor por presencia de agua |
| (RQD/Jn) | : Indica el tamaño de bloque |
| (Jr/Ja) | : Resistencia al corte entre los bloques |
| (Jw/SRF) | : Influencia del estado tensional |
| Au | : Oro |
| Ag | : Plata |
| Zn | : Zinc |
| Pb | : Plomo |
| Cu | : Cobre |
| N | : Norte |
| E | : Este |
| Kg | : Kilogramos |
| Atm | : Atmosfera |
| Kbar | : Kilo Bar |
| Mpa | : Mega pascal |
| GPa | : Giga pascal |
| T | : Tonelada |



RESUMEN

El trabajo de investigación en la Unidad Minera Las Águilas – CIEMSA tiene como objetivo, determinar la capacidad de anclaje del Split set corrugado con cartuchos de cemento respecto al Split set convencional para una determinada calidad del macizo rocoso basados en la clasificación de Bieniawski 1989, la investigación es descriptiva, explicativa y aplicativa. La calidad del macizo rocoso en By Pass 815 NE es de RMR 35 – 46.75 (IV-III), el tipo de roca es una andesita porfirítica alterada conforme los resultados obtenidos en doce estaciones geomecánicas el mínimo valor de RMR es 35 y el máximo de RMR es 45, en 03 estaciones la roca es de mala calidad con RMR [21,40], en 09 estaciones tienen calidad regular RMR [41,60]. La carga promedio que soportaron los pernos Split Set convencionales de 5 pies en longitud fueron 5.7 t, la carga promedio que soportaron los pernos Split set convencional de 5 pies en longitud con cartuchos de cemento fueron 7.0 t, la carga promedio que soportaron los pernos Split set corrugado de 5 pies en longitud fueron 7.5 t, y la carga promedio que soportaron los pernos Split Set corrugado de 5 pies de longitud con cartuchos de cemento fueron 8.2 t. La capacidad de anclaje de Split set convencional es 1.1 t/pie, la capacidad de anclaje del Split set convencional con cemento es 1.4 t/pie, la capacidad de anclaje del Split set corrugado es 1.5 t/pie y con cemento 1,6 t/pie, como resultado de las pruebas realizadas el Split set corrugado tiene mayor capacidad de anclaje respecto a Split set convencional, considerando estos resultados es recomendable hacer uso de Split set corrugado y se puede adicionar cartuchos de cemento.

Palabras claves. Macizo rocoso, estabilizador de fricción, Split set corrugado, anclaje, cartuchos de cemento, adherencia, sostenimiento.



ABSTRACT

The objective of the research work at the Las Águilas Mining Unit - CIEMSA is to determine the anchoring capacity of the corrugated Split set with cement cartridges with respect to the conventional Split set for a certain quality of the rock mass based on the classification of Bieniawski 1989, the research is descriptive, explanatory and applicative. The quality of the rock mass in By Pass 815 NE is RMR 35 - 46.75 (IV-III), the type of rock is an altered porphyritic andesite, according to the results obtained in thirteen geomechanical stations, the minimum RMR value is 35 and the maximum of RMR is 45, in 03 stations the rock is of poor quality with RMR [21,40], in 09 stations they have regular RMR quality [41,60]. The average load that the conventional Split Set bolts of 5 feet in length supported was 5.7 t, the average load that supported the conventional Split set bolts of 5 feet in length with cement cartridges was 7.0 t, the average load that the Split bolts supported The 5 ft long corrugated set was 7.5 t, and the average load on the 5 ft long corrugated Split Set bolts with cement cartridges was 8.2 t. The anchoring capacity of the conventional Split set is 1.1 t / ft, the anchoring capacity of the conventional Split set with cement is 1.4 t / ft, the anchoring capacity of the corrugated Split set is 1.5 t / ft and with cement 1.6 t / foot, as a result of the tests carried out, the corrugated Split set has a greater anchoring capacity compared to the conventional Split set, considering these results it is recommended to use a corrugated Split set and cement cartridges can be added.

Keywords. Rock mass, friction stabilizer, corrugated split set, anchor, cement cartridges, adherence, support.



CAPÍTULO I

INTRODUCCION

1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

El presente trabajo de investigación titulado “Calidad del macizo rocoso en incremento de la capacidad de soporte de Split set corrugado y cartuchos de cemento respecto a Split set convencional en By Pass 815 NE de la unidad minera las águilas – CIEMSA”, tiene como objetivo principal aumentar la capacidad de soporte del perno Split Set corrugado aumentando la capacidad de fricción y adherencia con cartuchos de cemento (mortero), respecto a Split set convencional que tiene menor capacidad de anclaje y corrosión generando sanciones en el proceso de auditoría por Osinergmin, inestabilidad y desprendimiento de rocas, consecuentemente pudiendo ocasionar accidentes incapacitantes a mortales hacia la supervisión o colaboradores.

Usualmente conforman sistemas combinados de refuerzo en macizo rocoso de calidad con RMR superior 35, el principio de su funcionamiento es estabilizar los bloques rocosos y/o las deformaciones de la superficie de la excavación, restringiendo los desplazamientos relativos de los bloques de roca adyacentes, en roca masiva, levemente fracturadas o fracturadas, el papel principal de los pernos en roca es el control de la estabilidad de los bloques y cuñas rocosas potencialmente inestables, llamado efecto cuña y/o viga, con lo que se explica que hay una relación directa de la calidad del macizo rocoso con la capacidad de anclaje, (SNMPE,2004, 2005), en las zonas donde se ha aplicado Split set convencional se ha producido algunas fallas y ha permitido el reforzamiento y reemplazo de pernos para lograr la estabilidad y evitar daños a los trabajadores, equipos e instalaciones auxiliares conforme las normas de Seguridad y Salud ocupacional en Minería.



Considerando la presencia de zonas inestables es necesario determinar la calidad del macizo rocoso mediante las clasificaciones geomecánicas y aumentar la capacidad del soporte activo mediante las pruebas requeridas de pull test de Split set en sus diferentes presentaciones. En el proceso de evaluación de la estabilidad de By Pass 815 NE se realizarán pruebas cuyos resultados permitan evitar las posibles fallas de soporte activo en función a la calidad del macizo rocoso conocidos fundamentalmente el RMR de Bieniawski 1989 y el Índice Q de Barton, Para alcanzar los resultados satisfactorios se requiere el uso de máquina perforadora manual Jackleg, juego de barrenos de 6pies y conjunto hidráulico (Pull Test Out) ENERPAC 30t para Split set convencionales y corrugado, considerando las características técnicas de la empresa proveedora Formin S.A.C y en marco del cumplimiento de las normas legales y la entidad fiscalizadora de Osinergmin. Se espera que se incremente la capacidad de anclaje de los Split set, cuyos resultados beneficiarán a colaboradores, supervisores y excavaciones subterráneas que requieran de este sostenimiento por mejores beneficios en la seguridad, operación y costos.

1.2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. Problema general

¿Cómo se puede determinar la calidad del macizo rocoso para incrementar la capacidad de soporte de los pernos Split set corrugados incluyendo cartuchos de cemento en instalación respecto a pernos Split set convencional en By Pass 815 NE de la Unidad Minera Las Águilas – CIEMSA?

1.2.2. Problemas específicos

¿Cómo se puede hacer uso de las clasificaciones geomecánicas para determinar la calidad del macizo rocoso?



¿Cómo se puede incluir cartuchos de cemento en instalación de Split set corrugados para incrementar la capacidad de anclaje respecto a pernos Split set convencional en By Pass 815 NE de la Unidad Minera Las Águilas – CIEMSA?

1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1. Objetivo general.

Determinar la calidad del macizo rocoso para incrementar la capacidad de soporte de los pernos Split set corrugados incluyendo cartuchos de cemento en instalación respecto a pernos Split set convencionales en By Pass 815 NE de la Unidad Minera Las Águilas – CIEMSA

1.3.2. Objetivos específicos.

- Hacer uso de las clasificaciones geomecánicas para determinar la calidad del macizo rocoso
- Determinar la capacidad de anclaje de los Split set corrugados respecto a los pernos Split set convencional añadiendo cartuchos de cemento en By Pass 815 NE de la Unidad Minera Las Águilas – CIEMSA.

1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

El sostenimiento en una operación minera constituye un alto costo por ello la mejora continua e innovación retribuye a una optimización de los precios mineros referentes al sostenimiento el cual repercutirá en una mejora del ciclo de minado sin pérdidas operativas y con una optimización de costos.

El comportamiento del macizo rocoso en una mina no es continuo, debido a los factores internos como externos entro los que más resaltan profundidad de la mina, tipo de roca, caracterización de roca, método de explotación, tipo de yacimiento, tipo de



mineralización y otras características geológicas que no se pueden controlar, las cuales varían las propiedades geomecánicas.

El presente proyecto de investigación se justifica plenamente en la Unidad Minera Las Águilas y en todas las operaciones mineras subterráneas que sostienen mediante pernos ya que se aumentara la capacidad de anclaje de un Split Set convencional convirtiendo un sostenimiento temporal en permanente, aumentando la productividad de las operaciones mineras

1.5. APLICABILIDAD

Los resultados del presente trabajo de investigación se pueden aplicar actualmente en la empresa, además también es posible su aplicación en empresas mineras dedicadas a la extracción de recursos minerales por método de minado subterráneo.

1.6. GENERACIÓN DE NUEVOS CONOCIMIENTOS

Los resultados generarán nuevos conocimientos en la investigación científica en vista de que es aplicable por su versatilidad en cualquier excavación subterránea con sostenimiento de la excavación mediante pernos anclaje Split set considerando su capacidad de anclaje evaluados en las operaciones mineras actuales entregaran excelentes resultados e innovación.

1.7. LIMITACIONES DEL ESTUDIO

Las limitaciones se centran a la recolección de datos de campo que tiene que tener conocimientos elementales de mapeo geomecánico, obtención de muestras representativas, codificación de datos de entrada y salida los resultados del presente



trabajo de investigación serán satisfactorios con datos de campo verídicos del macizo rocoso con datos de ingreso al software sean los más representativos con resultados satisfactorios, considerando esta realidad en el presente trabajo de investigación se tomaran en cuenta datos primarios y secundarios.

1.8. VIABILIDAD DEL ESTUDIO

Es viable porque existen problemas evidentes de desprendimiento de rocas del techo y hastiales de la excavación por la misma calidad de la masa rocosa hace necesario incrementar la capacidad de anclaje de los elementos de sostenimiento (Split set 5pies) garantizando las labores seguras.



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Hurtado J. (2018), concluye; las pruebas se realizan con la finalidad de verificar la calidad del producto y llevar un control de acero de los Split set, para garantizar las labores seguras y evitar accidentes por caída de rocas se realizaron 37 pruebas de arranque de pernos Split Set de 5ft, en 8 sesiones de trabajo; de los cuales 33 pasaron la prueba de arranque y 4 pruebas no pasaron. los resultados obtenidos de las Pruebas del Split Set de 5 ft, en el SN 742B NV 200 de la Sección I; fueron: De las 5 pruebas de Pernos Split Set de 5' realizados en el Nv_200, pasaron la Prueba los 5 Pernos Split Set de 5' Es decir, se ha aprobado el 100 % de la calidad del sostenimiento instalado, la resistencia mínima que debe alcanzar un Perno Split Set de 5' en estas pruebas; es de 5 Ton 1.0 ton / pie, los resultados obtenidos de las Prueba de calidad sección IV, en el Bp 460-Sur Nv 4202; fueron: De las 4 pruebas de Pernos Split set realizados en el Nv_4202 Bp 460-Sur dieron muy buenos resultados para la calidad de roca RMR 40 pasaron las pruebas ver cuadro superior. Es decir, se ha aprobado el 100 % de la calidad del sostenimiento instalado, en estas pruebas se utilizaron brocas 38 mm para la instalación de los pernos, los resultados obtenidos de las pruebas de calidad sección V, en la VN 626- B Nv4152; fueron: De las 8 pruebas de Pernos Split set realizados en el Nv_4152 VN 626-B dieron muy buenos resultados para la calidad de roca RMR 40 =45, pasaron las pruebas ver cuadro superior. Es decir, se ha aprobado el 100 % de la calidad del sostenimiento instalado, en estas pruebas se utilizaron brocas 38 mm para la instalación de los pernos.

Suasnabar P. (2019), respecto a pernos Split set afirma, en el sostenimiento con Split set, el diámetro de los tubos ranurados usado en la Compañía Minera Casapalca S.A.



son de 39mm de por 7 pies de longitud. Correctamente bien instalados alcanzan valores de 1TM por pie, sosteniendo en toda su longitud hasta 7 toneladas. Los Split set son utilizados mayormente para reforzamiento temporal, usualmente conformando sistemas combinados de refuerzo en terrenos de calidad regular a mala. En roca intensamente fracturada y débil no es recomendable su uso. Respecto a la identificación de variables afirma, la variable independiente está constituido por Análisis técnico de los frentes (RMR, RQD, GSI, Q), con sus indicadores tipo de roca I, tipo de roca II, tipo de roca III y tipo de roca IV; y la variable dependiente constituido por Optimización de los frentes en la Cía. Minera Casapalca S.A. con sus indicadores; informes de tipos de sostenimiento anteriores, Cumplimiento del procedimiento de sostenimiento, y Evaluación del programa anual de sostenimiento (pp71-73). La investigación está sustentada en la calidad del macizo rocoso y el tipo de soporte a aplicarse con Split set y otros, considerando las particularidades de la Compañía Minera Casapalca S.A.

OSINERMING (2017), es importante considerar la evaluación de la litología estructural del macizo rocoso consolidado en un dominio estructural, mediante el mapeo geomecánico por celdas se identifican y cuantifican las características del macizo rocoso ,en este proceso se evalúan los parámetros geomecánicos para hacer uso de las clasificaciones geomecánicas de RMR de Bieniawski, Índice Q de Barton y GSI de Hoek y Brown ,se evalúan las características lito estructurales que proporcionan en forma más precisa, en donde los parámetros geomecánicos son descritos en forma minuciosa conforme se presenta en el terreno la cuantificación de cada uno de ellos significa un valor significativo en la calidad del macizo rocoso, pp 15-240. La correcta aplicación del soporte requerido está en función a la calidad del macizo rocoso, en donde un gran número de pernos pueden fallar dentro de un área encerrados en un solo bloque de roca y



las partes finales de los pernos pueden ser visibles en estas circunstancias se requiere reemplazar el perno de acuerdo al tipo de roca.

Chucho D. (2017), tesis “Gestión de un programa de seguridad basado en el comportamiento dentro del proceso de mejora continua para el control de pérdidas en la U.E.A. Las Águilas” menciona; Para dirigir correctamente la metodología y controlar los resultados es necesario conocer algunos saberes de investigación, diseños de organización, y observación dirigida; con el correcto control y desarrollo planificado se puede lograr increíbles avances y cumplir objetivos que ayuden a mejorar los porcentajes de comportamientos seguros e incrementar una cultura de seguridad, que ira heredándose de trabajador en trabajador, en trabajo conjunto de la Alta Gerencia y los trabajadores de primera línea. La cultura de seguridad en la Minera Las Águilas viene tomando una revolución continua de mejora y superación, se ha tomado en su verdadera magnitud la evaluación geomecánica del macizo rocoso para el adecuado sostenimiento de la excavación, el 25% de trabajadores realiza su trabajo sin poner en riesgo su cuerpo o parte de él, además falta de entrenamiento y capacitación, se detectó muchos actos inseguros y riesgosos en la etapa de sostenimiento de la excavación, pp 20-128.

Espinoza J.C. (2011:165-167), menciona, respecto a la metodología de aplicación de soporte según RMR de regular a buena y GSI, esta determinación de parámetros se ha realizado en un tramo que previamente ha sido bien lavado, evitando tomar en cuenta posibles fracturas ocasionados por disparos, en labores principales, requieran de empernado sistemático en las paredes, de igual forma se requerirá de pernos en el techo en los casos de discontinuidades horizontales o sub horizontales, los pernos de mayor uso serán los Split set de 7-5 pies y pernos helicoidales de 7” para labores permanentes. concluye en su investigación; El sistema de mecanización del sostenimiento ha permitido reducir los accidentes por desprendimiento de rocas. La elaboración de una tabla donde



especifica la comparación de costos de sostenimiento semi-mecanizado a mecanizado, Los métodos empleados cuantifica y cualifica el macizo rocoso con más exactitud. Esto nos permite conocer el tipo de roca en donde se está realizando la excavación. Para el diseño de la excavación se tiene en cuenta el tipo de roca y sus parámetros mecánicos del macizo rocoso, además del tiempo de exposición que se encuentra abierta la excavación. De acuerdo al análisis de estabilidad simulado con el software Phase para secciones de 4 m de ancho y 4 m de alto, sin sostenimiento de refuerzo, el factor de seguridad dinámico en techo y laterales es de 1.40 (moderadamente estable) y estático es de 1.28 (estable).

Lazaro J. (2018), respecto a pernos Split set menciona, Los Pernos de Fricción “Split Set” representan el más reciente desarrollo de técnicas de reforzamiento de roca, trabajan por fricción (resistencia al deslizamiento) a lo largo de toda la longitud del taladro. Tubo de acero ranurado en toda su longitud y en donde uno de sus extremos es congado para facilidad e ingreso inicial del perno y en el otro extremo lleva un anillo soldado para mantener fija la placa luego de su instalación en el macizo rocoso. Usado como sostenimiento temporal y que actúa por fricción generando una presión radial en toda su longitud luego de su instalación. Se ha realizado las pruebas de arranque (pull test), durante las pruebas al igual que para todos los pernos, se hicieron dos mediciones y registros, la carga aplicada y la elongación del perno. La lectura en el manómetro se registró cada ton de carga y la correspondiente elongación (con vernier), hasta un valor pico, por encima del cual, el perno empezaba a salirse del taladro y lógicamente la carga en el manómetro dejaba de subir por encima de ese valor. Se procedió a la prueba de Pull test a 03 Pernos de fricción de 7 pies de longitud, instalados previamente. Se muestra tonelaje alcanzado de los Split set de 7 pies, el tipo de roca en la que se desarrollaron las pruebas de arranque de Pull Test es de tipo Regular IIIA (RMR de 51 a 60), (pp 111-115), además menciona, los resultados, fueron satisfactorios, debido a que usamos brocas



conforme al estándar de sostenimiento de Pernos Split set (convencional), cuya carga promedio que soportaron los pernos Split set fue de 7 Ton y una máxima de 8 ton.

Escalante H. (2017), tesis titulado Mejoramiento del sistema de sostenimiento, con madera, mediante pernos Split set y malla electro soldada en labores de explotación de la empresa “MACDESA” – Arequipa, de la Universidad Nacional del Altiplano, Facultad de Ingeniería de Minas, Puno, Perú, concluye, La Minera aurífera Cuatro de Enero S.A. con el sostenimiento de cuadros de madera y puntales, en las labores de explotación utiliza un costo total de 20.27 U\$/TM y con el sistema de sostenimiento mecanizado de los pernos Split set y malla electrosoldada utiliza un costo total de 19.04 U\$/TM de mineral ,cuya diferencia es de 1.23 US\$/TM de mineral explotado. 2. La eficiencia con el sistema convencional es de 2,80 TM/h y con el sistema mecanizado se logra una eficiencia de 3.31 TM/h, el cual demuestra la rentabilidad de Split set y malla electrosoldada. 3. La productividad con el sistema de sostenimiento convencional es de 4,51 TM/ hombre-guardia y con el sistema mecanizado de Split set y malla electrosoldada es de 6,35 TM/hombre-guardia haciendo una diferencia de 1,84 TM/hombre-guardia. 4. El costo de transporte de la madera es alto en comparación con el costo de transporte de pernos Split set y malla electrosoldada lo cual es determinante en los costos de explotación del yacimiento, El sostenimiento mecanizado de pernos Split set y malla electrosoldada es recomendable en las labores subterráneas de explotación temporales Se debe implementar el área de geomecánica en la minera aurífera Cuatro de Enero S.A, para realizar un estudio detallado de la estructura del macizo rocoso del yacimiento minero MACDESA.

Cecenarro J. (2019), afirma; En la U.E.A. Heraldos Negros de la Compañía Minera San Valentín S.A –Huancavelica 2019, conforme la evaluación de la capacidad de soporte individual de los pernos Split set instalados un 100% cumple la capacidad de soporte requerido y su distribución es la adecuada, con lo que se disminuyó un 9% los accidentes



por desprendimiento de rocas. Mediante la clasificación geomecánica se determinó la calidad del macizo rocoso donde se encuentra instalado el perno Split set, donde el tipo de roca predominante según el índice GSI es, (MF/R) a (F/R) y en el Parámetro RMR, tiene un valor que oscila de 35 a 60, mediante la prueba de pull test se determinó la capacidad de soporte de los pernos Split set instalados en el macizo rocoso, donde los pernos Split set de 5 pies, tienen una capacidad de soporte mayor/igual a 5 toneladas.

Según Gonzales de Vallejo L., Ferrer M. (2007), La caracterización de campo de los macizos rocoso es una labor necesaria en todos los estudios geológicos-geotécnicos que implican el conocimiento de las propiedades y características geomecánicas de dichos materiales, el desarrollo completo de los trabajos de campo en afloramientos de roca permite obtener información necesaria para evaluar el comportamiento de los macizos rocosos así como para diseñar adecuadamente las fases de la investigación más avanzadas y la interpretación de los resultados obtenidos en las mismas, existen otros factores que afectan a su comportamiento geológico como son, estado tensional, factores geo ambientales, estructuras tectónicas y sedimentarias no discontinuas en el macizo rocoso(pliegues), una vez realizadas las descripciones y tomadas los datos y medidas tal como se recoge en la etapa descritas en el campo, en macizos rocosos con pocos afloramientos puede ser difícil la división en zonas.

SNMPE (2004), en la roca, a fin de organizar y mantener una adecuada estrategia de control de la estabilidad de la roca en las labores mineras, el personal de una mina debe estar familiarizado con las características y condiciones de la masa rocosa propias de su mina. En tal sentido, este manual va a ayudar al personal a hacer del ambiente subterráneo un lugar de trabajo más seguro(...), cuando el personal de la mina sea capaz de conocer la roca, va a estar con mejor capacidad de identificar los peligros potenciales que podrían causar accidentes(...), conocer la roca también permitirá tomar

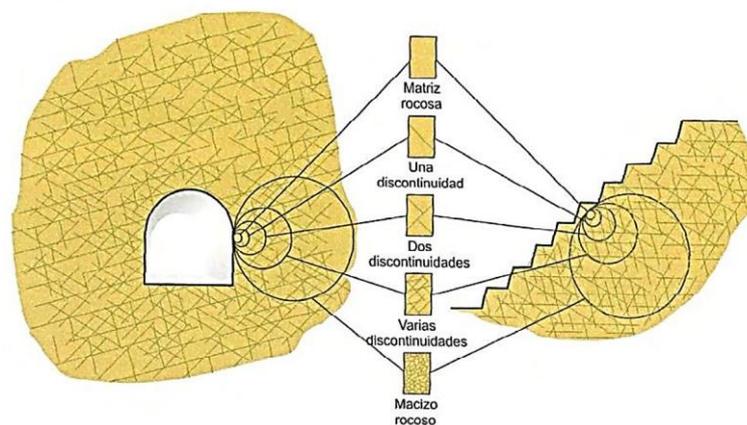
decisiones correctas sobre diferentes aspectos relacionados con las labores mineras, entre otras, se podrá establecer la dirección en la cual se deben avanzar las excavaciones, el tamaño de las mismas, el tiempo de exposición abierta de la excavación, el tipo de sostenimiento a utilizar y el momento en que éste debe ser instalado, pp 1-2.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. Recolección de datos geológicos

La recolección de datos geológicos es una tarea sumamente importante, afirman Gonzales de Vallejo L., Ferrer M. (2007), corroborado por (Ríos L. (2013), aseveran, se debe hacer el mayor uso posible de los conocimientos locales (información mediante mineros, trabajadores de canteras, fotografías aéreas, contratistas, aficionados a la geología y las Universidades), Las características de resistencia y deformabilidad de los macizos rocosos dependen fundamentalmente de las características de las discontinuidades estructurales, las cuales actúan como planos débiles. Esta condición es particularmente cierta en el caso de excavaciones abiertas, como las excavaciones viales o mineras superficiales, realizadas en rocas duras, es así como en la mayoría de las aplicaciones prácticas en rocas duras, las discontinuidades controlan el comportamiento del macizo, en la recolección de datos geológicos se debe diferenciar con bastante claridad la roca intacta y el macizo rocoso, ver Figura 1.

Figura 1. Descripción de macizo rocoso.



Nota. Adaptado de *Ingeniería geológica* por L. Gonzáles de Vallejo, 2002.



2.2.2. Mapeo de afloramientos

La roca que se manifiesta en la superficie será la que tiene que proporcionar la máxima información sobre los tipos de roca y sobre las características estructurales del macizo, los cauces de los arroyos generalmente proporcionan mucha información valiosa, ya que son los lugares donde el agua ha cortado la superficie dejando al descubierto la roca subyacente. Cuando hay pocos afloramientos o cuando se piensa que las manifestaciones existentes han sido seriamente alteradas por la meteorización, una trinchera o un pozo pueden ser la solución de las incógnitas. Los mapeos que se realizan para proyectos mineros, en su mayoría se realizan en galerías, cortadas, chimeneas, etc. Cuando se trata de proyectos importantes o cuando no se tenga labores subterráneas, los mapeos se realizarán a partir de los testigos de perforación diamantina. (Ríos L. 2013), en la estructura geológica de los afloramientos se evalúan los siguientes tipos de discontinuidades:

- Todo tipo de juntas.
- Planos de estratificación (débiles.)
- Zonas de contacto.
- Fallas.
- Diaclasas.

2.2.3. Características de discontinuidades

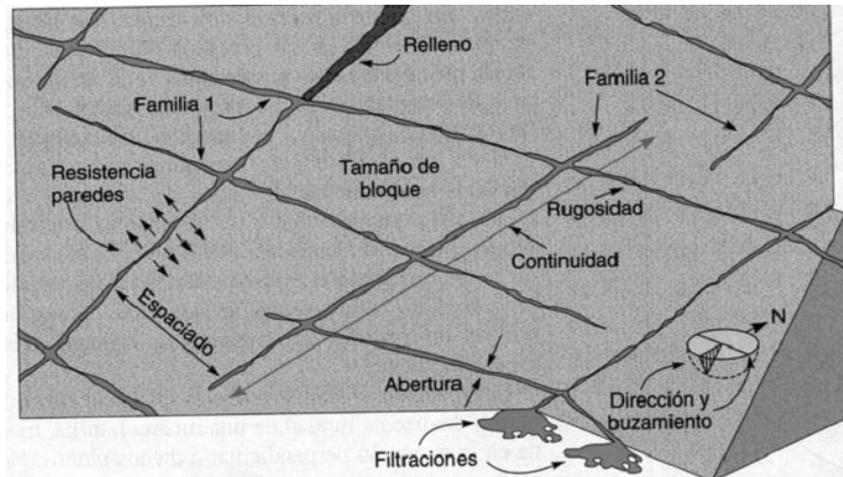
Las características de discontinuidades son:

- Orientación y número de discontinuidades.
- Frecuencia o espaciado de las juntas (distancia entre dos discontinuidades).
- Grado de apertura o separación (abierto o cerrado).
- Extensión, persistencia, continuidad.

- Rugosidad o textura superficial (pulida, lisa o rugosa) y relleno (sin o con relleno, tipo de relleno).

Figura 2

Estructura del macizo rocoso



Nota. Adaptado de *Ingeniería geológica* por L. Gonzáles de Vallejo, 2002.

2.2.4. Mecánica de rocas en técnicas de exploración

Según Ríos L. (2013), la necesidad de las técnicas de exploración indican que una buena parte del éxito de un proyecto de mecánica de rocas reside en el amplio conocimiento, de las características estructurales, del macizo rocoso en el cual se va a realizar la excavación, ciertamente no se puede escatimar costos en esta parte del proyecto, ya que mucho más podría costar remediar un colapso, todo proyecto de ingeniería debe iniciarse con una buena exploración del macizo rocoso previo a la etapa de diseño. La exploración del macizo puede realizarse de varias formas, algunas de las cuales son las siguientes:

- Exploración Geológica
- Exploración Hidrológica
- Exploración Geofísica
- Exploración Termal



- Exploración en base a pruebas de laboratorio.

Exploración geofísica. Es practicada para detectar cambios, en la roca, de algunas propiedades físicas, por ejemplo, gravedad específica, magnetismo, transmisión y reflexión de ondas sísmicas, tal como indica Ríos L. (2013), la exploración de rocas puede ser llevada a cabo, muy rápidamente, por medio del método sísmico. La exploración sísmica consiste en detectar, por medio de sismógrafos, el tiempo de viaje de las ondas, las cuales son producidas, artificialmente por una voladura controlada.

Exploración termal. La exploración termal e hidrotermal debe captar su información a través de temperaturas subterráneas y gradientes geotérmicas de la roca. Este sistema de exploración está más orientado hacia la ventilación de minas. Ríos L. (2013), Una variación de la temperatura puede inducir esfuerzos termales en la roca, especialmente en los granitos y otros tipos de roca.

Exploración en base a pruebas de laboratorio. Son ampliamente utilizados para encontrar algunas propiedades de las rocas, tales como su resistencia a la compresión uniaxial, triaxial; resistencia al corte, Además, esta forma de exploración es la única que puede brindar datos tan importantes como el módulo de elasticidad y el módulo de Poisson, conocidas como constantes elásticas.

Exploración geológica. Para el caso de excavaciones subterráneas, la exploración geológica debe ser llevada a cabo por ingenieros de gran experiencia y confiabilidad. La exploración geológica está relacionado a las condiciones geológicas, estratificaciones, condiciones tectónicas, tales como fallas y sistemas de discontinuidades, Gonzales de vallejo L., Ferrer M. (2007), petrografía y naturaleza de las rocas, efecto de las cargas de soporte, cambios de temperatura y presencia de agua. (Ríos L. 2013), afirma; la recuperación de testigos a partir de perforaciones diamantinas, es uno de los métodos de exploración geológica más ampliamente usado en el mundo.



2.2.5. Evaluación de discontinuidades mayores y menores

Al respecto muchos autores ha evaluado y sugerido que la determinación de la calidad del macizo rocoso parte de la evaluación in situ de la geología estructural de la presencia de discontinuidades mayores y menores, Priest y Hudsson (1974), Romana M.(2002), corroborado por Córdova D. (2006-2008), Deere et al (1968), en donde sugieren que las perforaciones diamantinas resultan beneficiosos y reales en la obtención de informaciones de discontinuidades mayores y menores, obtener la orientación de las discontinuidades y fallas menores a partir de los testigos de orientación diamantina, es un problema que ha sido ampliamente tratado y discutido en el trabajo de investigación de evaluación de trabajos de caracterización de macizos rocoso de afloramientos de Gonzales de vallejo L., Ferrer M. (2007), al respecto una de las formas más utilizadas es la inclusión de una pequeña brújula al final del taladro con lo cual se logra obtener la orientación deseada. Otra forma de obtener estos datos, es a partir de las fotografías tomadas desde el interior del barreno, con lo cual se logra muchas características adicionales, los testigos recuperados son almacenados en unas cajas, en las cuales se intenta que se encuentren en las mismas condiciones atmosféricas originales. Por su puesto, previamente se ha tenido que realizar el registro correspondiente, el cual consiste en vaciar, tramo a tramo todas las características de los testigos recuperados, en unos formatos previamente preparados, los cuales están de acuerdo al criterio del geólogo que realiza la exploración. Todos estos datos, posteriormente son representados gráficamente en un diagrama planar tridimensional. (Ríos L. 2013).

El grado de meteorización de la roca es una observación importante en cuanto condiciona de forma definitiva sus propiedades mecánicas. Según el proceso de meteorización aumentan la porosidad, permeabilidad y deformabilidad del material rocoso, al tiempo que disminuye su resistencia, la meteorización física y química que

afectan a las rocas se describen con precisión adecuada, la identificación del estado o grado de meteorización de la matriz rocosa se puede realizar de forma sistemática a partir de las descripciones en Tabla 1.

Tabla 1

Descripción de grado de meteorización.

| N° | Término | Descripción |
|----|--------------|--|
| 1 | Fresca | No se observan signos de meteorización en la matriz rocosa |
| 2 | Descolorada | Se observan cambios en el color original de la matriz rocosa. Es conveniente indicar el grado de cambio. Si se observa que el cambio de color se restringe a uno o algunos minerales se deben mencionar. |
| 3 | Desintegrada | La roca se ha alterado a un estado de suelo, manteniéndose la fábrica original. La roca es friable, pero los granos minerales no están descompuestos. |
| 4 | Descompuesta | La roca se ha alterado al estado de un suelo, algunos o todos los minerales están descompuestos |

Nota. Gonzáles de Vallejo (2002).

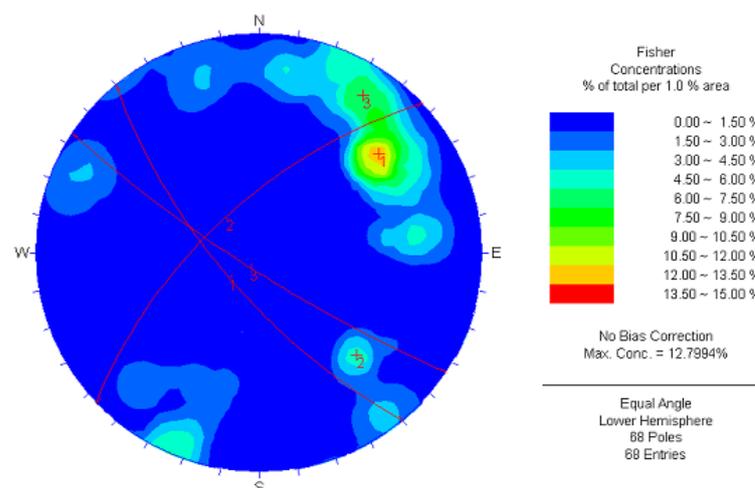
Representación gráfica de los datos estructurales. Para que la utilización de los datos geológicos resulte efectiva en un estudio, depende de la habilidad del ingeniero para comprenderlos, digerirlos e incorporarlos a su diseño, Ríos L. (2013), indica que la relación geométrica tridimensional entre las características estructurales es muy importante sobre todo cuando se prevé que va a existir formación de cuñas en el techo y las cajas que van a caer o resbalar, existen herramientas computacionales que desarrollan estas labores muy rápida y eficazmente. Tal es el caso del software DIPS (Desarrollado por Rock Engineering Group, Universidad de Toronto - Canadá).

El software DIPS tiene una amplia gama de opciones de utilización. Gráfica: proyecciones de áreas iguales y planos iguales; distribuciones de Schmidt y Fisher; aplica funciones de ponderación para el método de recolección de datos por scanline; representa gráficamente planos, polos, curvas contorneadas y rosetas de distribución; además, tiene un apartado de ayuda estadística, en donde la proyección de igual ángulo preserva

solamente la geometría de las formas proyectadas; el área en la superficie de la esfera, representada por la proyección de una región, depende de su localización. El área proyectada de un círculo dado se incrementa hacia el ecuador; la proyección B de un punto A que se encuentra sobre la superficie de la esfera se define como el punto donde el plano horizontal que pasa por el centro de la esfera queda perforado por una línea que va de A al zenit de la esfera. Como ejemplo de aplicación del software Dips de roscience se observa la existencia de 3 familias de discontinuidades predominantes, siendo la familia principal la que presenta una dirección N 40° W, con una inclinación de 70° SW, ver Figura 000.

Figura 3

Densidad de polos y familias de discontinuidades.



Nota. El análisis determinó 03 familias de discontinuidades predominantes siendo la familia principal la que presenta dirección N40W

2.2.6. Los anclajes como elemento de estabilidad

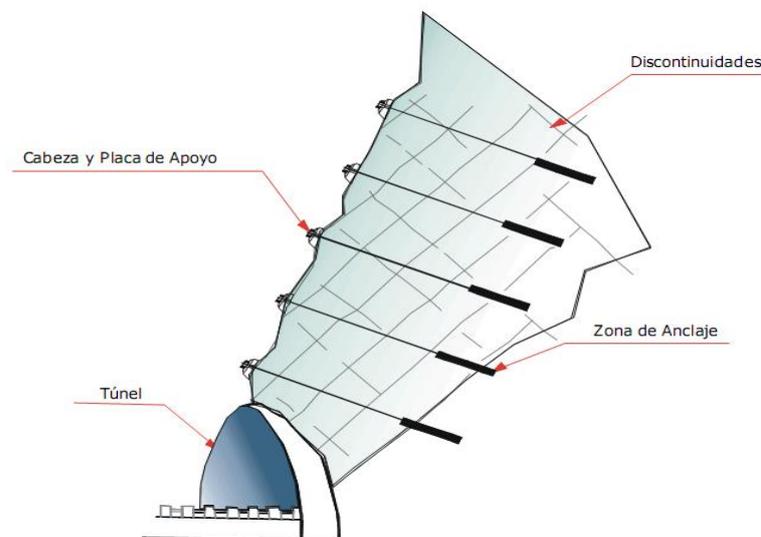
Los anclajes constituyen en los actuales momentos un medio esencial para garantizar la estabilidad de estructuras muy diversas, lográndose utilizar los procedimientos y posibilidades que la tecnología actual del soporte mediante anclajes pone a nuestra disposición para aplicar la técnica moderna del sostenimiento, conforme indica Ucar R. (2002), el autor en sus investigaciones indica que los anclajes pueden

usarse en forma muy ventajosa en cualquier situación en que se necesite la ayuda de la masa de suelo para soportar un determinado estado de tensiones o esfuerzos, como elemento que contrarresta las supresiones producidas por el agua, en el sostenimiento de techos y hastiales en obras subterráneas de vialidad, de centrales hidroeléctricas y mineras, e igualmente como soporte artificial en taludes constituidos por masas de suelos y/o de rocas

Para Ucar R. (2002), En lo referente a obras subterráneas tales como galerías y túneles de vialidad el problema fundamental que se plantea es el de asegurar el sostenimiento mediante anclajes durante y posterior al período de excavación, definiendo y construyendo un soporte y revestimiento capaz de asegurar la estabilidad definitiva de la obra. Lo mencionado anteriormente es de vital importancia, por cuanto la concentración de esfuerzos en la vecindad de la excavación puede ser la causante que la roca fracturada pueda desplazarse comprometiendo la estabilidad de la bóveda y de los hastiales del túnel, el sistema de muros anclados o sistemas de contención por medio de anclajes, bien sea activos o pasivos, es cada vez de mayor utilización.

Figura 4

Roca fractura en portal del túnel, estabilizada con tirantes anclados.

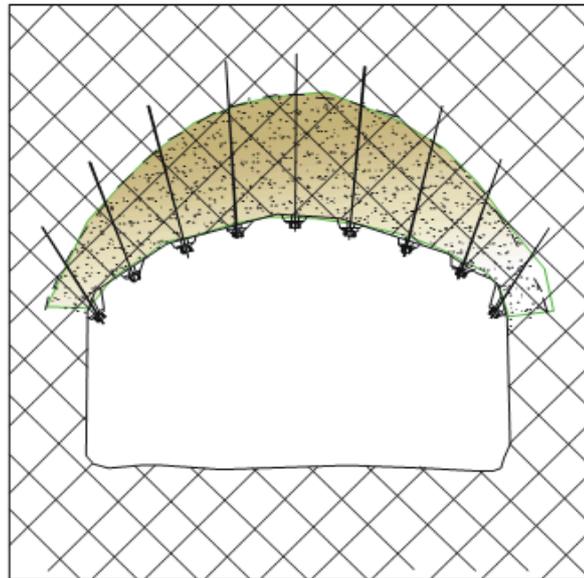


Nota. Adaptado de *Manual de anclajes en obras de tierras*, por R. Ucar, 2002.

Por otra parte, al diseñar un sistema de anclajes es fundamental no sólo llevar a cabo todas las comprobaciones de estabilidad, sino a la vez un análisis detallado del tipo de anclaje que mejor se adapte al terreno, conjuntamente con una adecuada disposición, la cual permita una mejor ejecución y funcionamiento del refuerzo metálico.

Figura 5

Techo de la galería soportado mediante bulones.



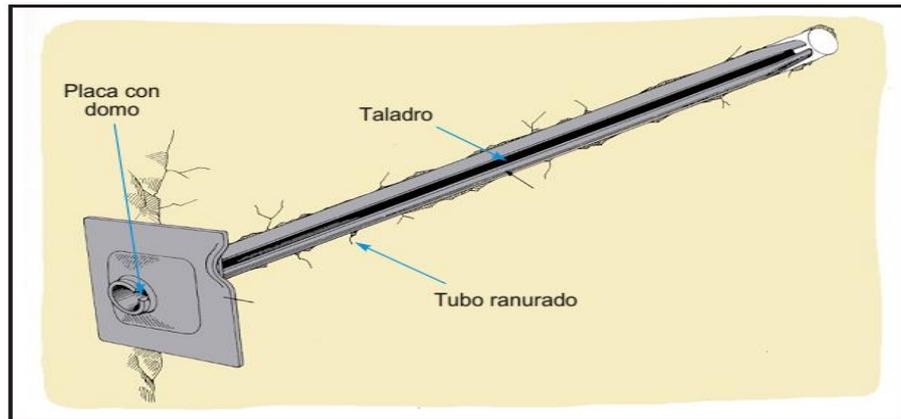
Nota. Adaptado de *Manual de anclajes en obras de tierras*, por R. Ucar, 2002.

Características de pernos de anclaje Split set.-Según (SNMPE, 2004: 112,113), Los Split sets, conjuntamente con los Swellex, representan técnicas de reforzamiento de roca que trabajan por fricción (resistencia al deslizamiento) a lo largo de toda la longitud del taladro. Aunque los dos trabajan con el mismo principio, tienen diferentes mecanismos de sostenimiento, como veremos más adelante. El Split set, consiste de un tubo ranurado a lo largo de su longitud, uno de los extremos es ahusado y el otro lleva un anillo soldado para mantener la platina. Al ser introducido el perno a presión dentro de un taladro de menor diámetro, se genera una presión radial a lo largo de toda su longitud contra las paredes del taladro, cerrando parcialmente la ranura durante este proceso. La fricción en

el contacto con la superficie del taladro y la superficie externa del tubo ranurado constituye el anclaje, el cual se opondrá al movimiento o separación de la roca circundante al perno, logrando así indirectamente una tensión de carga.

Figura 6

Perno de fricción Split set.



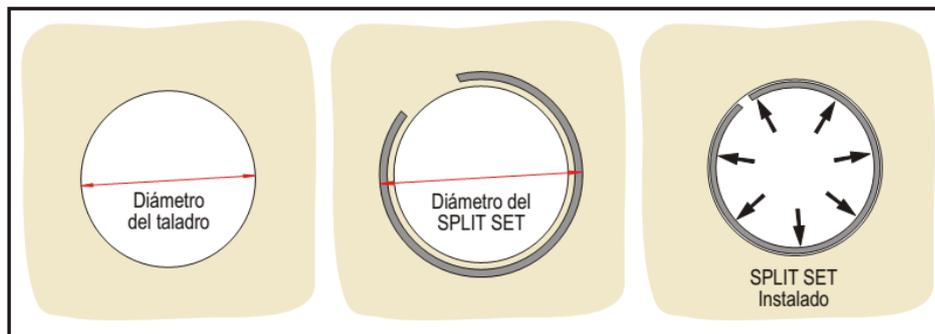
Nota. Adaptado de *Manual de geomecánica aplicada a la prevención de accidentes por caída de rocas en minería subterránea Lima Perú*, por SNMPE, 2004.

El diámetro de los tubos ranurados varía de 35 a 46 mm, con longitudes de 5 a 12 pies. Pueden alcanzar valores de anclaje de 1 a 1.2 toneladas por pie de longitud del perno, dependiendo principalmente del diámetro de la perforación efectuada, la longitud de la zona del anclaje y el tipo de la roca.

Los Split sets son utilizados mayormente para reforzamiento temporal, usualmente conformando sistemas combinados de refuerzo en terrenos de calidad regular a mala. En roca intensamente fracturada y débil no es recomendable su uso. Su instalación es simple, solo se requiere una máquina jackleg o un jumbo. Proporciona acción de refuerzo inmediato después de su instalación y permite una fácil instalación de la malla, el diámetro del taladro es crucial para su eficacia, el diámetro recomendado para los Split sets de 39 mm es de 35 a 38 mm, con diámetros más grandes se corre el riesgo de un anclaje deficiente y con diámetros más pequeños es muy difícil introducirlos.

Figura 7

Sección típica y mecanismo de anclaje de Split set.



Nota. Adaptado de *Manual de geomecánica aplicada a la prevención de accidentes por caída de rocas en minería subterránea Lima Perú*, por SNMPE, 2004.

Según Giraldo E. (2018), Capacidad de anclaje de los Split sets en función de su longitud efectiva de anclaje, Rev. Del Instituto de Investigación FIGMMG-UNMSM vol. 21 n° 41, 2018: 9 – 16, Issn-l: 1561-0888, afirma, El sostenimiento en las excavaciones subterráneas es esencial, para preservar la vida y la salud de los trabajadores, daños a los equipos y tener un adecuado avance de la excavación. Los elementos de sostenimiento de mayor aplicación son los pernos de roca, temporales o definitivos. Dentro de los pernos temporales, se tienen Split sets, muy difundido en el mundo por su facilidad de instalación y bajo costo. El Split set, tiene el aspecto de un tubo con una ranura de 15 mm de ancho en toda su longitud, para cuya instalación los fabricantes y proveedores recomiendan taladros de 38 mm de diámetro y profundidades acorde con su longitud. Para realizar el presente estudio, se han simulado el terreno y los taladros con una mesa especial y tubos de acero, respectivamente. Los Split Sets, se acondicionaron para hacer anclajes de 1, 2, 3 y 4 pies de longitud efectiva de anclaje. Preparados los tubos simuladores y los Split Sets, se procedió con la instalación, luego del cual, se realizaron las pruebas de arranque de las 3 muestras por cada longitud ensayada para determinar la capacidad de anclaje.

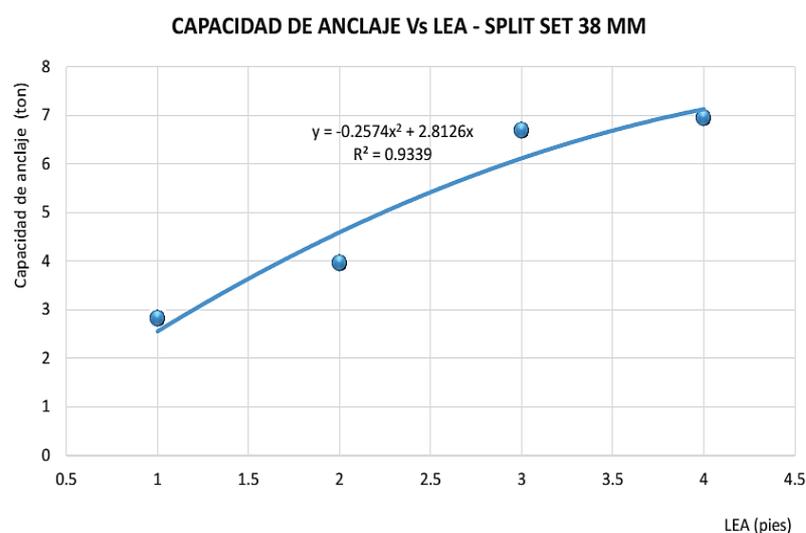
Las cargas pico para cada longitud en estudio, se registraron en formatos diseñados para este fin. Compilando los valores registrados y ajustándolos de acuerdo a la certificación de calibración del manómetro llevada a cabo en la UNI, se obtuvo las capacidades de anclaje para cada una de las longitudes ensayadas.

La longitud efectiva de anclaje máxima tiende a 4 pies, es decir, es innecesario usar longitudes superiores, para lograr las longitudes efectivas de anclaje (LEA) de 1, 2, 3 y 4 pies, los tubos simuladores se cortaron en longitudes de 45, 75, 105 y 135 cm, es decir 15 cm adicionales a las LEAs por la conicidad en la cola de los Split Sets. Los resultados de los análisis para cada longitud efectiva ensayada demuestran su influencia sobre la capacidad de anclaje de los Split Sets.

Asimismo, la relación entre ambos no es lineal, como estilan considerar los fabricantes y proveedores de estos pernos. Tal es así que, su comportamiento es ascendente hasta 4 pies, con tendencia a tornarse asintótica para longitudes superiores ver Figura 8.

Figura 8

Capacidad de anclaje de Split set en función de su longitud efectiva



Nota. Adaptado de *Capacidad de anclaje de los Split sets en función de su longitud efectiva de anclaje*, por E. Giraldo, 2018.



2.2.7. Caracterización de la masa rocosa

Para definir las condiciones de la masa rocosa de una manera sistemática, hoy en día existen criterios de clasificación geomecánica ampliamente difundidos en todo el mundo, como los desarrollados por Barton y colaboradores (1974), Laubscher (1977), Bieniawski (1989), Hoek y Marinos (2000) y otros. Por su simplicidad y utilidad, presentamos aquí los criterios RMR (Valoración de la Masa Rocosa) de Bieniawski (1989) y GSI (Índice de Resistencia Geológica) de Hoek y Marinos (2000), los mismos que se determinan utilizando los datos de los mapeos geomecánicos efectuados en las paredes de las labores mineras o en la superficie de afloramiento en caso de requerirse, (SNMPE, 2004), las clasificaciones geomecánicas tienen por objeto caracterizar ingenierilmente un determinado macizo rocoso, en función de una serie de parámetros a los que se les designa un cierto valor. Clasificar geomecánicamente un macizo rocoso consiste en otorgarle una puntuación según una metodología o criterio establecido. Una vez puntuado el macizo, se clasifica en una categoría de entre varias existentes en función del rango de puntos. (Jorda B., 2013).

Las clasificaciones geomecánicas se utilizan mucho actualmente, sobre todo en estudios geotécnicos, la principal ventaja de las clasificaciones geomecánicas consiste en que permiten obtener, mediante unas correlaciones establecidas, los principales parámetros mecánicos del macizo rocoso. Los sistemas de clasificación de los macizos rocosos tienen por objeto evaluar sus características para determinar de forma cuantitativa su calidad. (Ramírez O. & Alejano M. (2007).

2.2.8. Clasificación geomecánica de Z.T. Bieniawski RMR

En esta clasificación el valor de RMR se obtiene por el sumatorio de 06 parámetros intrínsecos:

- Resistencia compresiva uniaxial (RCU).
- RQD (Rock Quality Designation) propuesta por Deere et al. en el año 1967.

- Separación entre diaclasas.
- Estado de las discontinuidades.
- Presencia de agua.
- Descuento por orientación.

Las categorías de roca en función del valor del RMR, son las siguientes:

- I. Roca muy buena : RMR entre 81 y 100.
- II. Roca buena : RMR entre 61 y 80.
- III. Roca media : RMR entre 41 y 60.
- IV. Roca mala : RMR entre 21 y 40.
- V. Roca muy mala : RMR menor de 21.

Los criterios de valoración utilizados para obtener los diferentes parámetros pueden encontrarse en las tablas publicadas que conocen una amplia difusión en los ábacos de Z.T. Bieniawski 1989, corroborado por Bongiorno F., Belandria N. (2012), los autores consideran seis parámetros para determinar la calidad del macizo rocoso que se describen:

Tabla 2

Resistencia compresiva uniaxial (RCU) en (MPa) de algunas rocas

| Tipo de roca | Resistencia compresiva uniaxial (RCU), (MPa) | | |
|--------------|--|--------|-------|
| | Mínimo | Máximo | Medio |
| Creta | 1 | 2 | 1.5 |
| Sal | 15 | 29 | 22 |
| Carbón | 13 | 41 | 31 |
| Limonita | 25 | 38 | 32 |
| Esquistos | 31 | 70 | 43 |
| Pizarra | 33 | 150 | 70 |
| Arcillita | 36 | 172 | 95 |
| Arenisca | 40 | 179 | 95 |
| Marga | 52 | 152 | 99 |
| Mármol | 60 | 140 | 112 |
| Caliza | 69 | 180 | 121 |
| Dolomía | 83 | 165 | 127 |
| Andesita | 127 | 138 | 128 |
| Granito | 153 | 233 | 188 |
| Gneis | 159 | 256 | 195 |
| Basalto | 168 | 359 | 252 |
| Cuarcita | 200 | 304 | 252 |
| Dolerita | 227 | 319 | 280 |
| Gabro | 290 | 326 | 298 |
| Taconita | 425 | 475 | 450 |
| Sílice | 587 | 683 | 635 |

Nota. Bongiorno y Belandria (2012)

Primer parámetro. Resistencia de la roca sana

Tabla 3

Valoración de resistencia en MPa.

| | Descripción | Resistencia a compresión simple (Mpa) | Carga puntual (MPa) | Valoración |
|-----------------------------|---------------------|--|---------------------|------------|
| Resistencia de la roca sana | Extremadamente dura | >250 | > 10 | 15 |
| | Muy dura | 100 – 250 | 4 – 10 | 12 |
| | Dura | 50 – 100 | 2 – 4 | 7 |
| | Moderadamente dura | 25 – 50 | 1 – 2 | 4 |
| | Blanda | 5 -25 | | 2 |
| | Muy blanda | 1 – 5 | < 1 | 1 |
| | | | < 1 | 0 |

Nota. Según Bieniawski 1989, recopilado de Bongiorno y Belandria (2012)

Segundo parámetro. Cálculo del R.Q.D.

La calidad de roca R.Q.D se puede determinar:

- Trozos de rocas testigos mayores de 10cm recuperados en sondeos.
- Número total de discontinuidades que interceptan una unidad de volumen (1m³) del macizo rocoso, definido mediante el parámetro J_v .
- Teóricamente a partir de la densidad de las discontinuidades o frecuencia de las discontinuidades (λ) por Priest & Hudson, 1989. Para el primer caso se utiliza la primera fórmula:

Para el segundo caso se utiliza la siguiente fórmula:

Fórmula de Palmstrom.

$$RQD = 115 - 3,3 \cdot J_v$$

Fórmula de Priest & Hudson

$$RQD = 100 e^{(0,1\lambda)} (0,1\lambda + 1)$$



Tabla 4

Valor de RQD calculado

| Índice de Calidad R.Q.D. (%) | Calidad | Valoración |
|---|----------------|-------------------|
| 0- 25 | Muy mala | 3 |
| 25 – 50 | Mala | 8 |
| 50 – 75 | Regular | 13 |
| 75 – 90 | Buena | 17 |
| 90 - 100 | Excelente | 20 |

Nota. Según Bieniawski 1989, recopilado de Bongiorno y Belandria (2012)

Tercer parámetro. Separación de las discontinuidades

Tabla 5

Espaciamiento de las discontinuidades

| | Descripción | Espaciado de las Juntas | Tipo de macizo rocoso. | Valoración |
|----------------------|-------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|-------------------|
| Espaciamiento | Muy separadas | > 2 m | Sólido | 20 |
| | Separadas | 0,6 – 2 m. | Masivo | 15 |
| | Moderadamente juntas | 200– 600 mm. | En bloques | 10 |
| | Juntas | 60 – 200 mm. | Fracturado | 8 |
| | Muy juntas | < 60 mm. | Machacado | 5 |

Nota. Según Bieniawski 1989, recopilado de Bongiorno y Belandria (2012)

Cuarto parámetro. Condiciones de las discontinuidades.**Tabla 6***Aberturas de las discontinuidades*

| | Grado | Descripción | Separación de las caras | Valoración |
|--------------------------------------|--------------|-----------------------|--------------------------------|-------------------|
| Aberturas de discontinuidades | 1 | Abierta | > 5mm | 0 |
| | 2 | Moderadamente abierta | 1 – 5 mm | 1 |
| | 3 | Cerrada | 0,1 – 1 mm | 4 |
| | 4 | Muy cerrada | < 0,1 mm | 5 |
| | 5 | Ninguna | 0 | 6 |

Nota. Según Bieniawski 1989, recopilado de Bongiorno y Belandria (2012)

Tabla 7*Continuidad o persistencia de las discontinuidades*

| | Grado | Descripción | Continuidad | Valoración |
|-----------------------------------|--------------|--------------------|--------------------|-------------------|
| Continuidad o persistencia | 1 | Muy baja | < 1 m | 6 |
| | 2 | baja | 1 – 3 m | 4 |
| | 3 | Media | 3 – 10 m | 2 |
| | 4 | Alta | 10 – 20 m | 1 |
| | 5 | Muy alta | > 20 m | 0 |

Nota. Según Bieniawski 1989, recopilado de Bongiorno y Belandria (2012)

Tabla 8*Rugosidad de las discontinuidades*

| | Grado | Descripción | Valoración |
|--|--------------|-------------------------|-------------------|
| Rugosidad de las discontinuidades | 1 | Muy rugosa | 6 |
| | 2 | Rugosa | 5 |
| | 3 | Ligeramente rugosa | 3 |
| | 4 | Lisa | 1 |
| | 5 | Plana (espejo de falla) | 0 |

Nota. Según Bieniawski 1989, recopilado de Bongiorno y Belandria (2012)

Tabla 9

Relleno de las discontinuidades

| | Grado | Descripción | Valoración |
|--|--------------|--------------------|-------------------|
| Relleno de las discontinuidades | 1 | Blando > 5 mm | 0 |
| | 2 | Blando < 5mm | 2 |
| | 3 | Duro > 5mm. | 2 |
| | 4 | Duro < 5 mm | 4 |
| | 5 | Ninguno | 6 |

Nota. Según Bieniawski 1989, recopilado de Bongiorno y Belandria (2012)

Tabla 10

Alteración de las discontinuidades

| | Grado | Descripción | Valoración |
|---------------------|--------------|------------------------|-------------------|
| Alteraciones | 1 | Descompuesta | 0 |
| | 2 | Muy alterada | 1 |
| | 3 | Moderadamente alterada | 3 |
| | 4 | Ligeramente alterada | 5 |
| | 5 | No alterada | 6 |

Nota. Según Bieniawski 1989, recopilado de Bongiorno y Belandria (2012)

Quinto parámetro. Presencia del agua subterránea.

Para calcular la valoración según la presencia del agua subterránea se toma como referencia la tabla que a continuación se especifica, propuesta Z.T. Bieniawski 1989.

Tabla 11

Agua subterránea

| | Caudal por 10 m de túnel | Relación Presión agua – Tensión pp al mayor | Descripción | Valoración |
|-------------------------|---------------------------------|--|--------------------|-------------------|
| Agua subterránea | Nulo | 0 | Seco | 15 |
| | < 10 litros/min | < 0,1 | Ligeramente Húmedo | 10 |
| | 10-25 litros/min | 0,1 – 0,2 | Húmedo | 7 |
| | 25-125 litros/min | 0,2 – 0,5 | Goteando | 4 |
| | >125 litros/min | > 0,5 | Fluyendo | 0 |

Nota. Según Bieniawski 1989, recopilado de Bongiorno y Belandria (2012)

Sexto parámetro. Orientación de las discontinuidades, para la valoración de este parámetro se debe clasificar la roca de acuerdo al rumbo y buzamiento con respecto a la obra civil que se va a ejecutar, esta clasificación se especifica a continuación:

Tabla 12

Abaco de descuento por orientación de discontinuidad respecto a la dirección

| Dirección perpendicular al eje de la obra | | | | Dirección paralela al eje de la obra. | | |
|--|-----------|------------------------------|--------------|--|---------|--------------------------|
| Excavación con buzamiento. | | Excavación contra buzamiento | | | | |
| Buz | Buz | Buz | Buz | Buz | Buz | Buzamiento de 0 – 20° en |
| 45° - 90° | 20° - 45° | 45°-90° | 20° - 45° | 45° - 90° | 20°-45° | |
| Muy favorable | Favorable | Medio | Desfavorable | Muy desfavorable | Medio | Desfavorable |

Fuente. Bienawski 1989.

Tabla 13

Valoración para Túneles, minas y fundaciones

| | Calificativo | Valoración |
|---|---------------------|-------------------|
| Descuento para túneles y minas | Muy favorable | 0 |
| | Favorable | -2 |
| | Medio | -5 |
| | Desfavorable | -10 |
| | Muy desfavorable | -12 |
| | Calificativo | Valoración |
| Descuento para fundaciones | Muy favorable | 0 |
| | Favorable | -2 |
| | Medio | -7 |
| | Desfavorable | -15 |
| | Muy desfavorable | -25 |

Nota. Según Bienawski 1989, recopilado de Bongiorno y Belandria (2012)

Tabla 14

Valoración para taludes

| | Calificativo | Valoración |
|--|---------------------|-------------------|
| | Muy favorable | 0 |
| | Favorable | -5 |
| | Medio | -25 |
| | Desfavorable | -50 |
| | Muy desfavorable | -60 |

Nota. Bieniawski 1989

Tabla 15

Calidad del macizo rocoso con relación al Índice RMR 89

| Clase | Calidad | Valoración RMR | Cohesión | Ángulo de rozamiento |
|--------------|----------------|-----------------------|--------------------------|-----------------------------|
| I | Muy buena | 100-81 | >4 Kg/cm ² | > 45° |
| II | Buena | 80-61 | 3 – 4 Kg/cm ² | 35° - 45° |
| III | Media | 60-41 | 2 – 3 Kg/cm ² | 25° - 35° |
| IV | Mala | 40-21 | 1 – 2 Kg/cm ² | 15°- 25° |
| V | Muy mala | < 20 | < 1 Kg/cm ² | <15° |

Nota. Bieniawski 1989



2.2.9. Índice Q de Barton

Desarrollado por Barton, Lien y Lunde, (1974), constituye un sistema de clasificación de macizos rocosos que permite establecer sistemas de sostenimientos para túneles y cavernas, para el diseño de excavaciones subterráneas, principalmente túneles. Este sistema ha sido mejorado y actualizado constantemente, siendo la última actualización del año 2007, la cual incluye investigaciones analíticas respecto al espesor, espaciamiento y reforzamiento de arcos armados reforzados con concreto lanzado (RRS) como una función de la carga y de la calidad del macizo rocoso.

El Sistema Q es un sistema de clasificación del macizo rocoso con respecto a la estabilidad de excavaciones subterráneas para brindar una descripción de la calidad del macizo rocoso. El Sistema Q se basa en la estimación de seis parámetros independientes y expresa la calidad de la roca Q, como función de esos parámetros, (Osinermin, 2017). El sistema Q, está basado en evaluación numérica de seis parámetros que definen el índice Q. Este índice viene dado por la siguiente expresión.

$$Q = [(RQD/Jn) * (Jr/Ja) * (Jw/SRF)]$$

Como se analiza, la Clasificación de Barton et al, se basa en 6 parámetros:

- **RQD**: Índice de calidad de la roca.
- **Jn**: Índice de diaclasado que indica el grado de fracturación.
- **Jr**: Índice de que contempla la rugosidad, relleno y continuidad de las discontinuidades.
- **Ja**: Índice de alteración de las discontinuidades.
- **Jw**: Coeficiente reductor por la presencia de Agua.
- **SRF**: (Stress reduction factor) Coeficiente que tiene en cuenta la influencia del estado tensional sobre el macizo rocoso.

Los tres coeficientes representan de la siguiente manera:

- El primer coeficiente (RQD/Jn) representa el tamaño de los Bloques.



- El segundo coeficiente (J_r/J_a) representa la resistencia al corte entre los bloques.
- El tercer y último coeficiente (J_w/SRF) representa el estado tensional del macizo rocoso.

El rango de Variación de los parámetros es el siguiente: RQD: Entre 0 y 100

J_n: Entre 0,5 y 20

J_r: Entre 0,5 y 4

J_a: Entre 0,75 y 20

J_w: Entre 0,05 y 1

SRF: Entre 0,5 y 20

Tabla 16

Valoración de índice de calidad Q

| Tipo de roca | Valor de Q |
|-------------------------|--------------|
| Excepcionalmente mala. | 0,001 – 0,01 |
| Extremadamente mala. | 0,01 – 0,1 |
| Muy mala. | 0,1 – 1 |
| Mala. | 1 – 4 |
| Media. | 4 – 10 |
| Buena. | 10 – 40 |
| Muy buena. | 40 – 100 |
| Extremadamente Buena. | 100 – 400 |
| Excepcionalmente Buena. | 400 - 1000 |

Nota. Barton et al 1994.

Sugerencias para el uso de las tablas.

- Cuando no se disponen de sondeos, el RQD se estima a partir de afloramientos, mediante el índice volumétrico de juntas J_v.
- En el parámetro J_n, puede estar afectado por la foliación, esquistosidad, y laminaciones.
- Si las discontinuidades paralelas están suficientemente desarrolladas, se contabilizan como una familia, si no se contabilizan como discontinuidades ocasionales.

- Se tomarán los valores de los parámetros J_r y J_a de la familia de discontinuidades rellenas de arcilla más débil de la zona, pero hay que elegir en primer lugar las discontinuidades de orientación desfavorable, aunque no den el valor mínimo del cociente J_r/J_a .
- En las rocas anisótropas, la resistencia a la compresión simple de la roca, y la resistencia a la tracción, σ_c y σ_t , respectivamente se evalúan en la zona más desfavorable para la estabilidad de la estructura subterránea.

2.3. CLASIFICACIÓN GSI DE HOEK Y BROWN

Hoek et al, (1995) han propuesto un índice geológico de resistencia, GSI (geological strength index), que evalúa la calidad del macizo rocoso en función del grado y las características de la fracturación, estructura geológica, tamaño de los bloques y alteración de las discontinuidades.

Figura 9

Ábaco para determinar el valor de GSI

INDICE DE RESISTENCIA GEOLOGICO GSI (Hoek & Marinos, 2000). A partir de la litología, estructura y la condición de superficie de las discontinuidades, se estima el valor promedio de GSI. No intente ser muy preciso. Escoger un rango de 33 a 37 es más realista que fijar GSI=35. También notar que esta tabla no se aplica a mecanismos de falla controlado por estructuras. Donde se presenten planos estructuralmente débiles en una orientación desfavorable con respecto a la cara de la excavación, estos dominarán el comportamiento del macizo rocoso. La resistencia al corte de las superficies en rocas que son propensas a deteriorarse como resultado de cambios en la humedad, se reduce cuando exista presencia de agua. Cuando se trabaje con rocas de categoría regular a muy mala, puede moverse hacia la derecha para condiciones húmedas. La presión de poros se maneja con un análisis de esfuerzos efectivos.

| ESTRUCTURA | CONDICIONES SUPERFICIALES | | | | |
|---|--|--|---|--|--|
| | MUY BUENA Muy rugosa. Superficies frescas sin meteorización | BUENO Rugoso, ligeramente meteorizada, superficies con óxido. | REGULAR Lizas, moderadamente meteorizadas y superficies alteradas. | MALA Espejo de falla, altamente meteorizadas con recubrimiento compacto o rellenos o fragmentos | MUY MALA Espejo de falla, superficie altamente meteorizadas con recubrimiento de arcilla suave o rellenos |
| Intacta o Masivo: Especímenes de roca intacta o masivo in situ con pocas discontinuidades ampliamente espaciadas. | 90 | | | N/A | N/A |
| Levemente fracturado: Macizo rocoso no disturbado, muy bien entrelazado, constituido por bloques cúbicos formados por tres familias de discontinuidades | 80 | 70 | | | |
| Moderadamente Fracturado: Entrelazado, macizo rocoso parcialmente disturbado con bloques angulosos de varias caras formado por 4 o más familias de discontinuidades | | 60 | 50 | | |
| Muy Fracturado/Disturbado/Agrietada: Foliada con bloques angulosos formados por la intersección de muchas familias de discontinuidades. Persistencia de planos de estratificación o esquistocidad | | | 40 | 30 | |
| Desintegrado. Pobremente entrelazado, macizo altamente fracturado compuesto de una mezcla de pedruzcos de rocas angulosas y redondeadas | | | | 20 | |
| Foliado/Laminado/Cizallado: Falta de formación de bloques debido al pequeño espaciamiento o esquistocidad débil o planos de corte | N/A | N/A | | | 10 |

Nota. (Hoek, 2000, como se citó en Osinergmin, 2017)



2.4. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS

2.4.1. Características de las rocas.

Según SNMPE (2004), por su origen, las rocas pueden ser ígneas, sedimentarias y metamórficas.

- **Rocas Ígneas.** - Son aquellas que han sido formadas por la consolidación del magma.
- **Rocas Sedimentarias.** - formadas por la deposición de sedimentos.
- **Rocas Metamórficas.** - formadas por procesos de altas presiones y temperaturas.

Roca intacta

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

Masa rocosa

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

2.4.2. Planos de debilidad

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

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

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

Contactos litológicos. Que comúnmente forman, por ejemplo, la caja techo y caja piso de una veta.

Pliegues. Son estructuras en las cuales los estratos se presentan curvados.



2.4.3. Propiedades de las discontinuidades

Según SNMPE (2004), se consideran las siguientes propiedades:

Orientación. Es la posición de la discontinuidad en el espacio y comúnmente es descrito por su rumbo y buzamiento.

Cuando un grupo de discontinuidades se presentan con similar orientación o en otras palabras son aproximadamente paralelas, se dice que éstas forman un “sistema” o una “familia” de discontinuidades.

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

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

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

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

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.



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), pp 14-15.

Alteración. La alteración de la roca o más propiamente 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 en los cuales se emplazan., 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, (SNMPE ,2004), pp 14-15.

2.4.4. Resistencia de la roca.

Es uno de los parámetros más importantes del comportamiento mecánico de la masa rocosa, es la resistencia compresiva no confinada de la roca intacta (σ_c). Durante los trabajos de campo, como parte del mapeo geotécnico, se intentó realizar ensayos de dureza con el Martillo Schmidt para estimar la resistencia compresiva de la roca intacta, sin lograrse respuesta de la roca a la medición de esta propiedad, debido a su intenso grado de fracturamiento y debilitamiento.

Se intentó también extraer muestras para ensayos de laboratorio, pero por las mismas razones, no fue posible obtener muestras adecuadas; solo se obtuvieron muestras de la caja piso inmediata y de la caja techo alejado, pero en condiciones que representan el rango superior, por lo que no necesariamente son representativas de las condiciones



promedio. Lo que finalmente se hizo, es estimar la resistencia compresiva con el método del martillo de geólogo de acuerdo a las normas sugeridas por (ISRM, 1981)

Resistencia de las Discontinuidades. La resistencia al corte en este caso está regida por los parámetros de fricción y cohesión de los criterios de falla Mohr-Coulomb.

Por los diferentes aspectos de zonificación geomecánica, la estabilidad estructuralmente controlada pasa a segundo plano, siendo de mayor importancia la resistencia de la roca intacta y de la masa rocosa, los parámetros de *Mohr Coulomb* de acuerdo al criterio de rotura.

Resistencia de la masa rocosa. Las propiedades de resistencia de la masa rocosa, referidas a la compresión, tracción, parámetros de corte y constantes elásticas, fueron estimadas utilizando el criterio de falla de *Hoek & Brown* (*Hoek et.al.*, 1992) y (*Hoek et.al.*, 2002 – Programa RocLab).

2.4.5. Caracterización de la masa rocosa

Es la determinación de la calidad del macizo rocoso mediante las clasificaciones geomecánicas con información de laboratorio y mapeo sistemático de las discontinuidades, denominado mapeo geomecánico.

2.4.6. Condiciones de la masa rocosa

Si la roca intacta es dura o resistente y las discontinuidades tienen propiedades favorables, la masa rocosa será competente y presentará condiciones favorables cuando sea excavada. Si la roca intacta es débil o de baja resistencia y las discontinuidades presentan propiedades desfavorables, la masa rocosa será incompetente y presentará condiciones desfavorables cuando sea excavada, (SNMPE ,2004), pp 15-25.



2.5. HIPÓTESIS Y VARIABLES

2.5.1. Hipótesis general

Determinando la calidad del macizo rocoso se logra incrementar la capacidad de soporte de los pernos Split set corrugados incluyendo cartuchos de cemento en instalación respecto a pernos Split set convencional en By Pass 815 NE de la Unidad Minera Las Águilas – CIEMSA

2.5.2. Hipótesis específicas

- Haciendo uso de las clasificaciones geomecánicas se logra determinar la calidad del macizo rocoso
- Incluyendo cartuchos de cemento en instalación de los pernos Split set corrugados se logra incrementar la capacidad de anclaje respecto a pernos Split set convencional en By Pass 815 NE de la Unidad Minera Las Águilas – CIEMSA

2.5.3. Variables

2.5.4. Variable independiente

Calidad del macizo rocoso mediante clasificaciones geomecánicas

2.5.5. Variable dependiente

¿Cuantificar la capacidad de anclaje de los pernos Split Set corrugados respecto a Split set convencional añadiendo cartuchos de cemento en By Pass 815 NE de la Unidad Minera Las Águilas – CIEMSA?



CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

De acuerdo a la naturaleza del trabajo de investigación plasmada en el presente trabajo es descriptiva, explicativa y aplicado, por las características geomecánicas, estocástico y determinístico por el tratamiento cuantitativo y cualitativo de las muestras, el dominio estructural del macizo rocoso y pernos de anclaje como elemento de sostenimiento

Descriptivo. Describe hechos reales sostiene, Sierra Bravo, R. (1988), la descripción concerniente a procedimientos técnicos de las operaciones mineras actuales, la construcción de infraestructura minera en y los principales usos que se realizan en la actualidad, describe el procedimiento de la determinación de la calidad del macizo rocoso y los soportes actuales que se aplican en By Pass 815 NE de la Unidad Minera Las Águilas – CIEMSA

Explicativo. Son aquellos trabajos donde nuestra preocupación se centra en determinar los orígenes o las causas de un determinado conjunto de fenómenos, asevera, Sabino, C. (2008). Su objetivo, por lo tanto, es conocer por qué suceden ciertos hechos, analizando las relaciones causales existentes o, al menos, las condiciones en que ellos se producen. Este es el tipo de investigación que más profundiza nuestro conocimiento de la realidad porque nos explica la razón o el porqué de las cosas, una de las preocupaciones en una excavación subterránea es el desprendimiento rocas del techo y de los hastiales en By Pass 815, el método explicativo se centra el por qué se produce el desprendimiento principalmente por la presencia de cuñas que obedece al dominio estructural del macizo rocoso.



Aplicado. Los resultados logrados son aplicables en operaciones mineras subterráneas o tunelería de otras empresas conforme las normas legales mineras exigen en la actualidad, plasmando todos los procesos de instalación de los pernos Split Set con perforadora manual Jackleg o equipo mecanizado y evaluando todos los factores que influyen en la capacidad de anclaje de los pernos Split Set corrugado y cartuchos de cemento en By Pass 815 NE de la Unidad Minera Las Águilas – CIEMSA, orientado a mejorar la capacidad de anclaje y asegurar el sostenimiento en las labores permanente y para lograr los objetivos trazados, se aplicó en su procedimiento el tipo descriptivo y explicativo, para describir cualitativa y cuantitativamente las discontinuidades del macizo rocoso, considerando las afirmaciones de Tamayo, M. (2012), y aplicar los resultados de acuerdo a los requerimiento de las operaciones mineras en donde las condiciones del macizo rocoso, características del yacimiento y características de los pernos Split set corrugado y cartuchos de cemento para sostenimiento son fundamentales.

3.2. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

Diseño de la investigación es el plan general del investigador para lograr respuestas a sus interrogantes o comprobar la hipótesis de investigación. El diseño desglosa las estrategias básicas que se adopta para generar información exacta e interpretable, dicho de otra manera, es el plano o estrategia que se desarrolla para obtener la información que se requiere en una investigación (Hernández S., 2006), por las características geo estructurales del macizo rocoso se ha plantea realizar la investigación.

3.3. FASES DE LA INVESTIGACIÓN

En el presente trabajo de investigación el diseño de investigación es descriptivo, explicativo y aplicada se han considerado cuatro fases para la ejecución:

- Recolección de datos.
- Procesamiento de datos.



- Sistematización del trabajo de investigación.
- Presentación y exposición de resultados.

3.4. POBLACIÓN Y MUESTRA DE INVESTIGACIÓN.

3.4.1. Población.

La población está constituida por el conjunto de todas las observaciones posibles con el establecimiento de la unidad de análisis en By Pass 815 NE de la Unidad Minera Las Águilas – CIEMSA y su respectiva delimitación, es el conjunto de mediciones que se obtengan de registro lineal, características estructurales, propiedades físico-mecánicas obtenidas del laboratorio para caracterización de roca intacta y del macizo las características de discontinuidades se evaluarán con software de la compañía Rocscience para posteriormente proseguir con la caracterización del macizo rocoso mediante la evaluación de los parámetros geomecánicos.

3.4.2. Muestra.

Se considera a la muestra como una fracción de la población que cumplan la condición de que con una probabilidad P , representado por las características geo estructurales en una progresiva o tramo establecido en By Pass 815 NE de la Unidad Minera Las Águilas – CIEMSA, los resultados pueden tener validez para todo el universo de todo el proceso de mediciones o evaluaciones materia de investigación que forman parte de la investigación (Velásquez 1999),

3.4.3. Muestreo.

El muestreo es una herramienta de la investigación científica mediante el uso de instrumentos adecuados cuya función específica es de hacer inferencias sobre la población.

3.4.4. Cálculo de muestra con población desconocida

El cálculo se ha realizado con la siguiente fórmula:



$$n = \frac{(Z^2_c)(P)(Q)}{D^2}$$

Dónde:

Z=Nivel de confianza

P=Probabilidad de éxito

Q=Probabilidad de fracaso (Q=1-P)

D=Precisión (Error máximo permisible en términos de proporción)

3.4.5. Operación de variables.

En la operación de variables se ha considerado la descripción misma de cada uno de los variables, tal como observa en Tabla 17.

3.4.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Es un procedimiento, o conjunto de procedimientos, regulado y provisto de una determinada eficacia. Las técnicas constituyen una de las partes más importantes de la actividad científica (Gortari, 1979). Se dice que la técnica es un conjunto de instrumentos de medición, elaborados en base a conocimientos científicos propuestos y asumidos por el investigador.

3.4.7. Técnicas de análisis de datos.

En el nivel de análisis en función a los objetivos y las hipótesis .que se han planteado si se consideran necesarias las técnicas estadísticas, se debe mencionar y justificar convenientemente su uso, en el presente trabajo de investigación es sumamente importante realizar análisis estadístico ,La información recolectada será representada en tablas de contingencia, con tantas entradas como indicadores tengan las variables, o

también serán representadas en gráficos, cualquiera que sea su forma, los cuales se mencionarán en cada caso específico, En cuanto a la prueba o pruebas estadísticas a emplearse, se puede emplear la estadística descriptiva (ED) o Inductiva (EI). La primera tiene por objeto procesar las medidas necesarias de las cosas, individual y/o grupalmente, sin abrir juicio de calidad, valor, diferencia, importancia, etc., sobre las mismas. La segunda atiende a las necesidades de tomar decisiones respecto a la capacidad de anclaje de acuerdo al diagrama de flujo propuesto, ver Figura 10.

Figura 10

Diagrama de flujo de calidad del macizo rocoso y capacidad de anclaje

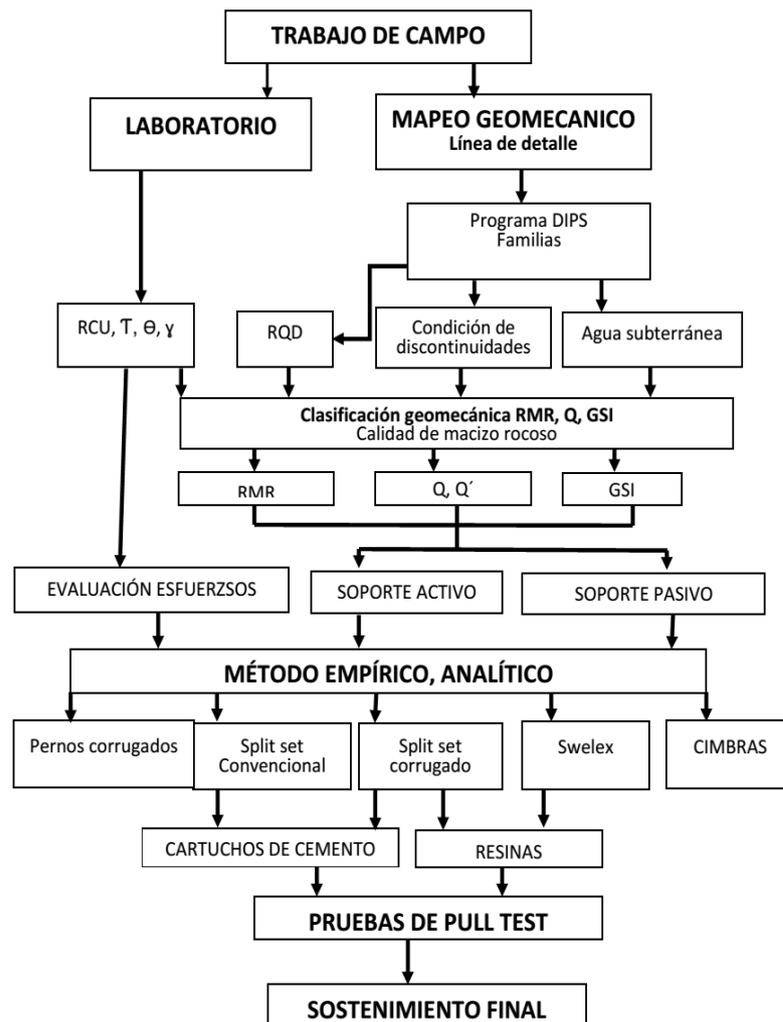


Tabla 17

Operacionalización de variables

| Variables | Dimensión | Indicadores | Escala | Instrumento | | |
|---|--|--|---|---|------------------------------|------------------|
| Variable independiente. Calidad del macizo rocoso mediante clasificaciones geomecánicas | Caracterización geomecánica de RMR de Bieniawski 1989. Considerando el arreglo estructural del macizo rocoso | RCU (Resistencia compresiva uniaxial) | Muy dura Dura Moderada Blanda Muy landa Muy mala | Laboratorio | | |
| | | RQD (Rock Quality Designation) | Mala Regular Buena Excelente | Formulas | | |
| | | Espaciado | Muy separadas Separadas Moderadam ente juntas Juntas Muy juntas Persistencia | Flexómetro | | |
| | | Estado de discontinuidades | Apertura Rugosidad Espesor alteraciones | Abaco | | |
| | | Agua subterránea | Valoración | Abaco | | |
| | | Descuento por orientación | Valoración | Abaco | | |
| | | Variable dependiente. Cuantificar la capacidad de anclaje de los pernos Split Set corrugados respecto a Split set convencional añadiendo Cartuchos de cemento en By Pass 815 NE de la Unidad Minera Las Águilas – CIEMSA | Capacidad de anclaje de Split set convencional en By Pass 815 NE de la Unidad Minera Las Águilas – CIEMSA | Anclaje de Split set convencional sin cemento | Carga aplicada con Pull test | Equipo Pull test |
| | | | | Anclaje de Split set convencional con cemento | Carga aplicada con Pull test | Equipo Pull test |
| | | | | Anclaje de Split set corrugado sin cartuchos de cemento | Carga aplicada con Pull test | Equipo Pull test |
| | | | | Anclaje de Split set corrugado con cartuchos de cemento | Carga aplicada con Pull test | Equipo Pull test |

Nota. Predetermina el RQD, RMR e instrumentos a usar.



3.4.8. Técnicas de procesamiento de la información

Considerando las características del trabajo de investigación se utilizó como técnicas a la codificación, tabulación (definición de tablas y gráficas) y cuadros de consistencia para el análisis cuantitativo y cualitativo del dominio estructural del macizo rocoso que permite la ubicación de la concentración de polos en el diagrama π y diagrama β con el apoyo de DIPS.

3.4.9. Instrumentos.

En el presente trabajo de investigación se han considerados los siguientes instrumentos:

- Cámara fotográfica
- Guías de registro Mapeo Geomecanico
- Brújulas
- Estación total
- Equipos de seguridad minera
- Pinturas para el marcado de las discontinuidades
- Planos de geología regional y local
- Planos de zonificación geomecánica de labores
- Computadoras, laptops personales

3.5. ÁMBITO DE ESTUDIO

El trabajo de investigación se ha realizado en By Pass 815 NE de la Unidad Minera Las Águilas – CIEMSA

3.5.1. Ubicación.

La Unidad Minera Las Águilas se encuentra ubicada en el distrito de Ocuwiri, provincia de Lampa, Región Puno, entre las coordenadas 8332000 – 8333000 N y 308500

– 309500 E, aproximadamente a 14 km al SE del distrito de Ocuvi. Las instalaciones de la concesión minera las concesiones mineras se encuentran a 4 300 - 4700 m.s.n.m. en la margen derecha del río Antaymarca. La mina Marisol se ubica en la margen derecha de la quebrada Lloque.

3.5.2. Accesibilidad.

Se accede mediante vía área Lima-Juliaca y posteriormente en carretera asfaltada hasta la localidad de Llallí, continuando en carretera afirmada hasta las instalaciones de la unidad minera en un tiempo aproximado de 2 horas y 30 min. desde Juliaca.

Tabla 18

Acceso al proyecto Las Águilas-CIEMSA

| Tramo | | Distancia | Tipo de vía |
|------------------------------------|-------------------|-----------|-------------|
| Juliaca | Ayaviri | 104 km. | Asfaltada |
| Ayaviri | Chuquibambilla | 18 km. | Asfaltada |
| Chuquibambilla | Llallí | 25 km. | Afirmada |
| Llallí | U. M. Las Águilas | 35 km. | Trocha |
| TOTAL, Juliaca - U. M. Las Águilas | | 182 km. | |

Nota. Chucho D. (2017)

3.5.3. Clima

La zona de la U.E.A. “Águilas” se caracteriza por tener un clima variado; de diciembre a marzo hay mayores ventiscas y las lluvias mayormente son sólidas en la época de precipitaciones pluviales. El clima mayormente es frío y seco desde mayo hasta noviembre y son muy remarcadas las ventiscas que ocurren de mayo a octubre. La temperatura promedio durante el año es de 8° a 10° C.

3.5.4. Vegetación.

La flora es muy escasa y se limita a los pastos naturales raquíuticos y la presencia del ichu en toda el área. No se observan arbustos salvo el rebrote de las puyas de



Raimondi, 7 km al este del campamento minero. No hay presencia de cultivo andino debido a las temperaturas bajas que se presentan en la zona. En la zona del entorno de la unidad minera, la tierra es utilizada para el desarrollo de la ganadería. La ganadería está representada básicamente por: llamas, alpacas y carneros, que se sustentan básicamente de la utilización de pastos naturales.

3.5.5. Drenaje

El drenaje es dendrítico siendo el río Chaquilla el principal colector de las aguas de escorrentía temporal de las quebradas de Cellococha, Acallacce, Sequeña y Lloque que juntos forman el río Antaymarca que discurre al río Ocuvi.

3.5.6. Geología

Según Cosi J. (2019), La Unidad Minera Las Águilas se encuentra emplazada en depósitos volcánicos pertenecientes al Grupo Tacaza, consistente en un miembro inferior predominantemente de rocas piroclásticas y un miembro superior con un predominio de lavas volcánicas de composición andesítica. Estas rocas se encuentran cubiertas por depósitos morrénicos, fluvio-morrénicos y aluviales. La descripción de la geología regional del área de emplazamiento de la unidad minera está comprendida en el boletín N°42, Serie A: Carta Geología Nacional “Geología de la Cordillera Occidental y Altiplano al Oeste del Lago Titicaca – Sur del Perú”, Hoja 31-u (Ocuvi), diciembre 1993, elaborado por el INGEMMET.

3.5.7. Geomorfología

El área de emplazamiento de la unidad minera Las Águilas está ubicada en la unidad geomorfológica definida como “La Cordillera Occidental” correspondiente a una cadena de montañas de dirección NO-SE con picos que pueden estar sobre los 6,000 msnm. Las montañas están ligadas a una altiplanicie (entre los 4,500 y 5,000 m) conocida



como Puna. Esta Cordillera fue glaciada durante el Pleistoceno, y son comunes en toda el área, rasgos típicos de glaciares de valle. Los ríos y quebradas tributarias del flanco oriental de la Cordillera Occidental drenan hacia la cuenca del lago Titicaca y tienen un patrón de drenaje dendrítico e incisivo, (Cosi J. (2019).

3.6. LITO ESTRATIGRAFÍA

3.6.1. Mesozoico

- **Formación Ayavacas.** A 3 km al Oeste y a 7 km al Norte del poblado Ocuvi, existen pequeños afloramientos de calizas gris azuladas de grano fino, estratificación caótica y escasamente fosilífera dentro de una secuencia de escasos limo arcillas y lodolitas. Debido a su poca extensión superficial y por la cobertura mayormente volcánica no se pueden distinguir otros rasgos litológicos o estructurales y ésta es la única formación calcárea en el área la Unidad Minera Las Águilas.

3.6.2. Cenozoico

- **Grupo Puno.** La localidad de Ocuvi se encuentra ubicada sobre estas rocas, que consiste en una secuencia de areniscas arcósicas con conglomerados, escasas limolitas y calizas acompañadas de pequeños horizontes tufáceos.
- **Grupo Tacaza.** El grupo Tacaza en la región, es una secuencia constituida por depósitos de ambiente lagunar y derrames volcánicos de naturaleza lávica, piroclástica y aglomerádica, de edades del terciario medio a superior. Sin embargo, localmente se emplazan volcánicos andesíticos, en general de color gris verdosa con fenocristales blanquecinos feldespáticos, donde en algunos lugares la meteorización le da apariencia rojiza oscura por la descomposición de los minerales ferro magnesiano este es el tipo de roca huésped de la



mineralización en la mina Las Águilas, en el área de emplazamiento de la unidad minera Las Águilas se observa el miembro inferior del grupo Tacaza predominantemente compuesto de brechas tobáceas y aglomerados con intercalación ocasional de lavas andesíticas de textura porfirítica y el miembro superior del Grupo Tacaza, predominantemente de lavas y brechas andesíticas con presencia de Augita porfirítica cuya alteración es de color rojizo con venillas de calcita, (Cayllahua, 2018)

- **Grupo Palca.** Este grupo toma el nombre del poblado de Palca, carretera de Águilas hacia Lampa, pasando por Vila; es una secuencia mayormente ignimbrítica que descansa en discordancia angular sobre el grupo Tacaza. Los afloramientos principales de este grupo se encuentran claramente expuestos al sur y este del poblado de Ocuvi, y al extremo SE de nuestra área donde se describe la geología regional. Los planos de juntas que presentan estas rocas facilitan la erosión formándose zanjas y dando un aspecto de fracturamiento en los afloramientos produciéndose bordes prominentes, (Cayllahua, 2018).

3.6.3. Depósitos cuaternarios

Dentro de los depósitos cuaternarios encontramos a los depósitos de morrenas constituidos por fragmentos de rocas volcánicas del grupo Tacaza de diferente clasificación granulométrica, que se encuentran depositadas en las laderas de los cerros con moderada pendiente y como cobertura de las vetas Úrsula; de manera que el nivel 4369 en su desarrollo hacia el Norte llega a acortarlo por debajo de los 5 a 10 metros de la superficie, a manera de un pequeño “Valle Glaciar”. Estos depósitos ocultan los probables afloramientos de la estructura de la veta Úrsula y del sistema de fracturamiento que emplazan mineralización de sulfuros.

3.6.4. Depósitos Coluvio-morrenicos

Los depósitos coluvio-morrenicos se encuentran depositados en laderas de suave a moderada pendiente y consisten en bloques, bolones y gravas subangulosos a subredondeadas envueltos en una matriz limoarcillosa, cohesivos, densos, compactos y húmedos, transportados por acción glaciaria al respecto, Chucho D. (2017), afirma, estos suelos se encuentran cubriendo los afloramientos del Grupo Tacaza y tienen espesores entre 10 a 30 m. Se observan en el área de emplazamiento del campamento de la unidad minera y el portal de entrada de la mina Úrsula.

3.6.5. Depósitos fluvio - morrénicos

Están relacionados con los cauces de las quebradas y ríos existentes que nacen en el flanco oriental de la cordillera Occidental, al respecto indica Cusi J. (2019), en su trabajo de investigación, consisten en bolones y gravas subredondeadas envueltos en una matriz areno-limosa, no cohesiva, no plástica y poco densa, se observa el acceso que se viene construyendo para las bocaminas de mina Marisol y el área de emplazamiento del campamento, en la confluencia de la quebrada Lloque con el río Antaymarca, así como afloramientos de tobas dacíticas y lavas andesíticas del Grupo Tacaza.

Figura 11

Vista del área de influencia de la Unidad Minera Las Águilas



Nota. Adaptado de Cálculo de reservas de la unidad minera por J. Cusi, 2019.

3.6.6. Geología estructural

Evidentemente el principal control estructural es la tendencia del fracturamiento local de rumbo NE – SW que son de pre mineralización, que sirvieron de canales de emplazamiento de los fluidos mineralizantes, la mayoría de estructuras en el área de emplazamiento de la unidad minera Las Águilas son resultado de la deformación ocurrida durante uno o más pulsos del ciclo Andino. En términos regionales se observa que los ejes de pliegues y fallas ocurren generalmente en fajas lineales, las cuales se encuentran cerca de fracturas mayores. Durante las fases extensionales estas fracturas permitieron el desarrollo de grabens y durante la comprensión, las franjas entre las fracturas actuaron en algunos casos con cierto grado de independencia, las estructuras dominantes siguen el rumbo andino (NO-SE), pero una estructura mayor de dirección E-O, parte del surco Lagunillas (Lagunillas Une) y atraviesa el cuadrángulo de Puno y Ocuvi Evidentemente el principal control estructural es la tendencia del fracturamiento local de rumbo NE – SW que son de pre mineralización, que sirvieron de canales de emplazamiento de los fluidos mineralizantes.

3.6.7. Alteraciones –Mineralización

Respecto a la mineralización se considera que los derrames volcánicos andesíticos (porfiríticos), del Grupo Tacaza son las rocas encajonantes de la veta reconocidas con labores subterráneas. La alteración hidrotermal predominante es la propilítica y zonas puntuales argílica, con presencia de clorita tanto en los fragmentos y la matriz de la brecha. La mineralización está dada por galena, esfalerita (rubia), algo de calcopirita y presencia de oro al parecer asociado a los óxidos (especularita y limonita). Como minerales de ganga se tiene pirita fina (diseminada), specularita, calcita, cuarzo, Così J. (2019). La mineralización se presenta en relleno de vetillas, venillas, diseminaciones, pequeñas concentraciones y puntos, evidentemente la roca colindante con la brecha



presenta mayormente halos de argilización moderada, con fuerte cloritización y débil propilitización, y zonas puntuales de moderada silicificación. Las alteraciones secundarias o meteóricas mayormente se manifiestan como limonitización y hematización que posiblemente prevengan de la descomposición de los minerales ferrosos de la roca y de la pirita primaria emplazada con los otros sulfuros de plomo y zinc.

- **Veta Marisol.** Reconocida en los niveles 4714, 4695, 4630, 4580 y 4480, consiste en una brecha con fragmentos silicificados de andesitas dentro de la roca caja andesitas, con textura porfírica, se orienta N 65° - 75° NE, Buzando entre 60° - 80° SE., controlado probablemente por un fracturamiento-fallamiento tanto en sentido horizontal como vertical.
- **Control estructural.** el principal control estructural es la tendencia del fracturamiento local de rumbo NE – SW que son pre-mineralización y que sirvieron de canales de emplazamiento de los fluidos mineralizantes.
- **Veta Úrsula.** Existe otro sistema post-mineralización transversal al fracturamiento primario donde la estructura de veta principalmente en veta Úrsula tiende a inflexionar y empobrecer la mineralización manifestando sólo mineral de arrastre de baja ley y con visibles espejos de falla milonitizada (gouge). Por otra parte, la veta Úrsula y Úrsula Ramal 1 o más específicamente, Cayllahua P. (2018), la zona de brecha, está delimitada por fallamientos no bien definidos y se presentan más bien como zonas de fallas con movimientos variables y de diferentes orientaciones de modo tal que no existen aparentemente patrones definidos de las direcciones de tales desplazamientos. Al parecer dos factores primordiales primaron en estas zonas de fallas, primero los diferentes pulsos

magmáticos de los flujos de lavas y segundo la orogenia evolutiva en las zonas de debilidad de las rocas pre – formadas.

3.6.8. Estructuras mineralizadas

La Gal 060 SW se desarrolla en rocas volcánicas de naturaleza lávica y de composición andesítica con textura porfirítica de granulometría media a fina. La zona de fracturamiento con rumbo NE – SW ha emplazado un auto-brechamiento volcánico de clastos sub-angulosos de tamaños centímetros hasta decímetros y que debido a su naturaleza porosa y permeable se ha mineralizado por eventos hidrotermales rellenando los bordes de los clastos.

Las micro fracturas de los clastos y también han diseminado finamente dentro de la misma masa de la auto- brecha, y en algunas zonas de mayores aberturas porosas el mineral se ha emplazado en forma masiva dando la impresión de ser “clastos” de mineral de sulfuros de plomo y zinc, (Cayllahua, 2018).

Figura 12

Estructura mineralizada de la Veta Úrsula



Nota. Adaptado de Evaluación de costos operativos en galerías de exploración para optimizar la perforación y voladura en la unidad minera las Aguilas – Ciemsa por P. Cayllahua, 2018.

Figura 13

Mineralización de la Veta Úrsula



Nota. Adaptado de P. Cayllahua, 2018.

3.7. RESERVAS MINERALES.

Las reservas se han clasificado por Valor Económico en Mena, Marginal y Sub marginal y por Certeza Geológica en Probado, Probable. Todos los análisis por Pb, Ag, Au, Zn, y Cu, se han realizado en el Laboratorio Químico Metalúrgico de la UM. El Cofre de propiedad de CIEMSA, no se ha efectuado verificaciones del laboratorio y de muestras duplicadas en otro laboratorio, (Cosi J. 2019).

3.7.1. Reservas minerales de mineral polimetálico.

Según Cosi J, (2019), las reservas de mineral polimetálico al 30 de junio 2019 de veta Marisol es de 201,780 TMS con 1.64 % Pb, 1.31 Oz/Tm Ag, 2.73 gr/TM Au, 1.56 % Zn y 0.15 % Cu, Ag eq/TM = 13.12 oz/TM valorizado en US\$ 124.46 dólares americanos, distribuidas de la siguiente Manera:

- **Mena.** El mineral de mena está distribuido de la siguiente manera en el yacimiento de la UM. Las Águilas-CIEMSA.
- **Mineral de Mena.** 151,625 TMS con 1.73 % Pb, 1.41 Onza/Tm Ag, 3.18 gr/TM Au, 1.65 % Zn y 0.15 % Cu, Ag eq/TM = 14.93 onza/TM valorizado en US\$



141.60 dólares americanos. Marginal: 43,095 TMS con 1.41 % Pb, 0.99 Onza/Tm Ag, 1.43 gr/TM Au, 1.33 % Zn y 0.10 % Cu, Ag eq/TM = 7.85 onza/TM valorizado en US\$ 74.41 dólares americanos.

- **Sub marginal.** 7,060 TMS con 1.05 % Pb, 1.04 Onza/Tm Ag, 1.17 gr/TM Au, 1.01 % Zn y 0.32 % Cu, Ag eq/TM = 6.53 onza/TM valorizado en US\$ 61.91 dólares americanos.
- **Mineral probable.** Del total de reservas se tiene 163,210 TMS de mineral probado con 1.69 % Pb, 1.32 onza/TM Ag, 2.69 gr/TM Au, 1.60 % Zn y 0.15 % Cu y 38,570 TMS de mineral probable,
- **Reserva total.** Conforme se ha descrito las reservas minerales probadas y probables, las Reservas de mineral polimetálico al 30 de Junio 2019 de veta MARISOL es de 201,780 TMS con 1.64 % Pb, 1.31 Onza/Tm Ag, 2.73 gr/TM Au, 1.56 % Zn y 0.15 % Cu, Ag eq/TM= 13.12 onza/TM valorizado en US\$ 124.46 dólares americanos Los resultados de las inclusiones muestran Th: entre 202 y 490°C y salinidad entre 0.8 y 6.3%eq. peso NaCl, estas características de los fluidos pertenecen a tres eventos enmarcados en un sistema epitermal y mesotermal. Las reservas de mineral se vienen incrementando de acuerdo a los estudios de inclusiones fluidas realizados, (Cosi J., 2019).

3.8. MÉTODO DE MINADO

El método de explotación en la Unidad Económica Administrativa Las Águilas es Corte y Relleno ascendente convencional (Over Cut And Fill), ya que el yacimiento presenta características que son favorables para su aplicación, Chucho D. (2017),

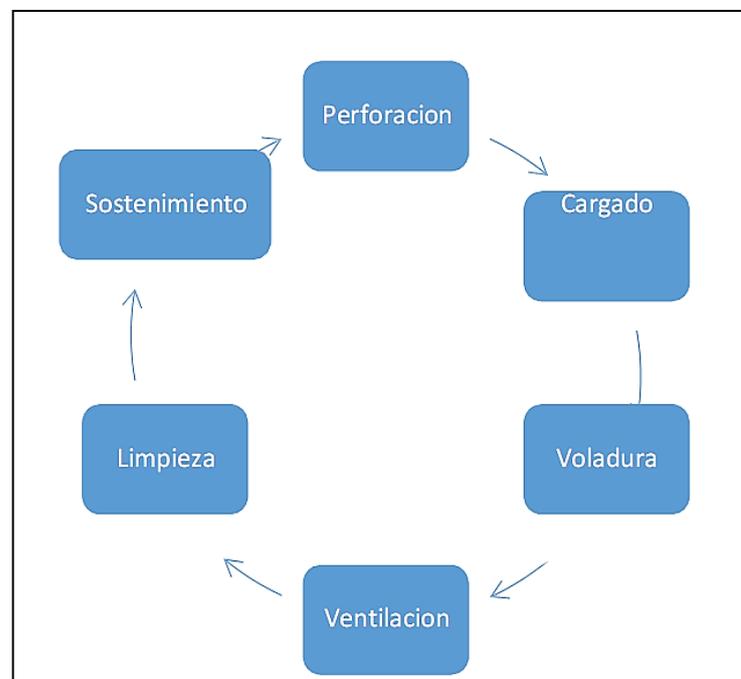
- Características geomecánicas de la roca caja.
- El mineral tiene buena ley.
- Buzamiento pronunciado (45° - 70°).

3.8.1. Ciclo de minado

Según Chucho D. (2017), el ciclo de minado actual en las labores de exploración de los niveles. Se realizan y se cumplen en su totalidad en la guardia correspondiente, siendo doble ciclo para los tajos de explotación actual, La limpieza del material volado se realiza con pala neumática en caso de las labores de exploración, y para tajos se realiza con Scooptram, el traslado del mineral del interior mina a exterior es por locomotora el cual lo divide hacia la cancha de desmonte y cancha de mineral, para su posterior blending y traslado hacia la planta concentrado La Inmaculada. Una de las causas de que no se cumpla el ciclo diario es la falta de aire comprimido continuo, que hace que se retrase, falte o escasee en momentos determinantes, para su ejecución, el ciclo actual de minado se observa en Figura 14.

Figura 14

Ciclo de minado de Unidad Minera Las Águilas-CIEMSA



Nota. Adaptado de *Gestión de un programa de seguridad basado en el comportamiento dentro del proceso de mejora continua para el control de pérdidas en la U.E.A. Las Águilas*, por D. Chucho, 2017.



3.8.2. Procedimiento y equipos utilizados

Los equipos que se utilizaron fueron: Cilindro hidráulico, gata hidráulica, vernier, trípode, esparrago y tuerca, se realizó los trabajos de instalación y pruebas de campo de Pull test, conociendo la calidad del macizo rocoso de mala a regular con RMR de 40 - 45 en la labor, By Pass 815 NE, Nv. 4330 Zona Úrsula. RMR de 40 – 45 de calidad mala a regular

En el By pass 815 NE se instaló 09 pernos Split set de 5´ y 11 pernos Split set de 5´ con cartuchos de cemento, posteriormente se ha adicionado más pernos para una mejor obtención de datos. Se realizó las pruebas de arranque respectivo a cada elemento instalado en las labores.

3.8.3. Capacitación en sala y en campo.

- Sala de capacitación de la contrata COMISERGE S.R.L
- Sala de capacitación de compañía CIEMSA.

Se realizó la capacitación correspondiente sobre los elementos sostenimiento y la correcta instalación. Para evitar desprendimiento de rocas en cumplimiento de las normas de seguridad minera, en donde la capacitación es sumamente importante, considerando las afirmaciones se realizó el registro en las hojas de capacitación de la compañía minera CIEMSA con los siguientes temas:

- Elementos de sostenimiento de la empresa Formin.
- Correcta instalación de cuadros de madera.
- Correcta instalación del Split set y la malla electrosoldada.
- Correcta instalación de las cimbras metálicas.
- Correcta instalación in situ del Split set de 5 pies y mallas electrosoldadas.
- Alternativas de sostenimiento para la profundización
- Verificación del diámetro de broca para la instalación de Split set.



Además se realizó la visita a almacén para verificar productos y el correcto almacenamiento de los elementos de sostenimiento en compañía de la empresa FORMIN, los resultados alcanzados se muestran en Tabla 64, Tabla 65, Tabla 66, Tabla 67, Tabla 68, Tabla 69, Tabla 70, Tabla 71, Tabla 72, Tabla 73, Figura 28, Figura 29, Figura 30, Figura 31, Figura 32, Figura 33, Figura 34, respectivamente en donde se observa los valores numéricos correspondientes conforme al objetivo 2, y los resultados de la instalación



CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. CALIDAD DEL MACIZO ROCOSO EN BY PASS 815 NE

La calidad del macizo rocoso en By Pass 815 NE es muy importante para el diseño de sostenimiento y elección de elementos de sostenimiento como el Split set convencional y Split set corrugado, la capacidad de anclaje depende de la calidad del macizo rocoso y diámetro de taladro.

4.1.1. Calidad del macizo rocoso en By Pass 815 NE

La determinación de la calidad del macizo rocoso se ejecutó de acuerdo al objetivo 1 haciendo uso de la clasificación geomecánica RMR de Bieniawski 1989, para ello se realizó la cuantificación de cada uno de los 06 parámetros geomecánicos requeridos.

4.1.2. Cuantificación de calidad del macizo rocoso en By Pass 815 NE

Según Mamani F. (2016), Para la cuantificación de la calidad del macizo rocoso se requiere la evaluación de los seis parámetros propuesto por Bieniawski 1989, las características físicas y mecánica de la roca intacta así como del macizo rocoso, la recolección de la información de la geología estructural se sistematiza en dominios estructurales, corroborado por Córdova D. (2008), indica que el mapeo geomecánico puede ser realizado haciendo uso del método de línea de detalle o método de la ventana, Aunque recientemente también se está considerando el mapeo por arco rebatido

4.1.3. Mapeo geomecánico en By Pass 815 NE

Según Mamani F. (2016), La geomecánica como ciencia aparece a fines de los años 50, que hizo su entrada en el hasta entonces, mundo crítico de las obras subterráneas. Históricamente se conoce que el primer congreso de Mecánica de Rocas se celebró en

Portugal en 1966. (López Jimeno, 1998), el mapeo geomecánico es la representación gráfica cuantitativa y cualitativa de las discontinuidades, es una etapa fundamental de la recolección de los datos del terreno sistematizado en un dominio estructural del macizo rocoso.

La recolección de la información lito estructural del macizo rocoso se ha realizado conforme las normas y estándares internacionales de ISRM la progresiva 520.00 m - 529.00 m By Pass 815 NE, se ha logrado identificar un total de 84 discontinuidades en dicha progresiva, considerando la propuesta de Espinoza J.C. (2011:165-167), corroborado por Lázaro J. (2018), además se ha evaluado la calidad del macizo rocoso en 12 estaciones geomecánicas para lograr la calidad real del macizo rocoso, aplicada a la geología estructural respectiva tal como se puede observar en figura 15, figura 16, figura 17. Por método de línea de detalle, tal como se observa en Figura 18, Figura 19, Figura 20.

Figura 15

Ubicación de la progresiva 520.00 m - 529.00 m By Pass 815 NE



Nota. Selección de elementos de sostenimiento para prueba de Pull Test.

Figura 16

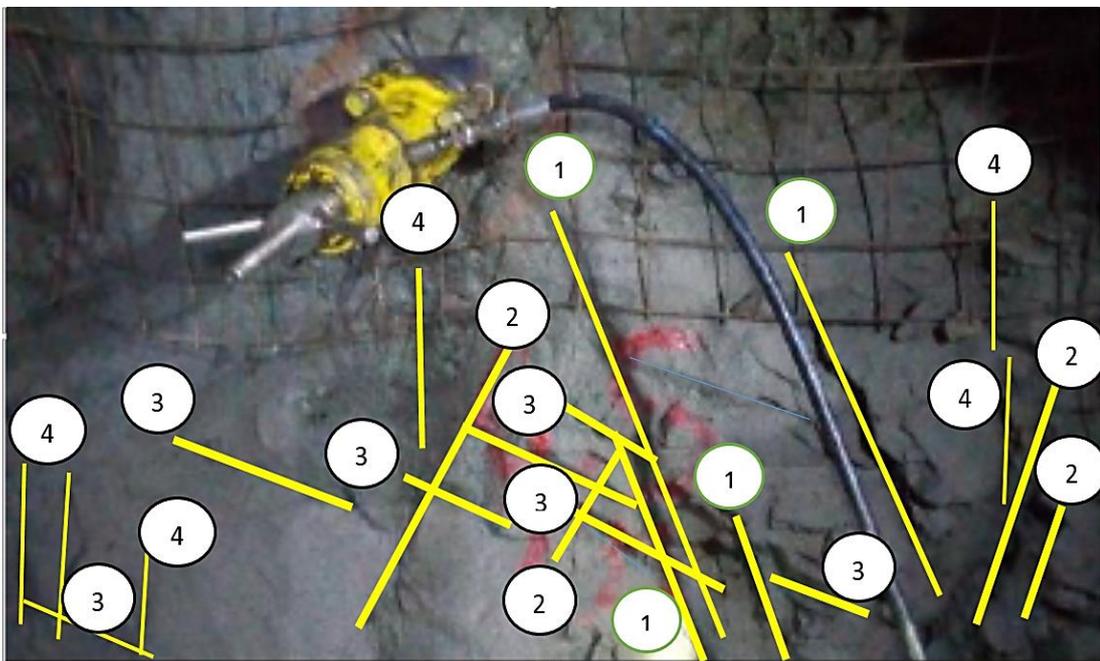
Identificación de discontinuidades en progresiva 520.00 m - 529.00 m



Nota. Se identifica las discontinuidades para el cálculo RQD.

Figura 17

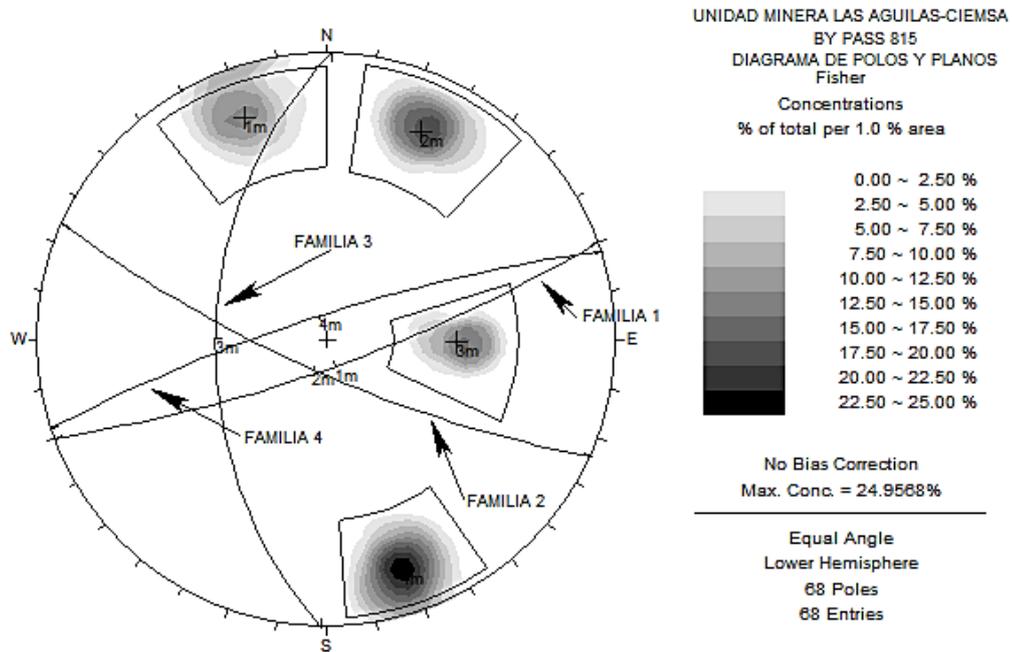
Identificación de 4 familias en progresiva 520.00 m - 529.00 m



Nota. En este mapa se identifica las 04 familias de discontinuidades predominantes que forman cuñas y bloques tabulares.

Figura 18

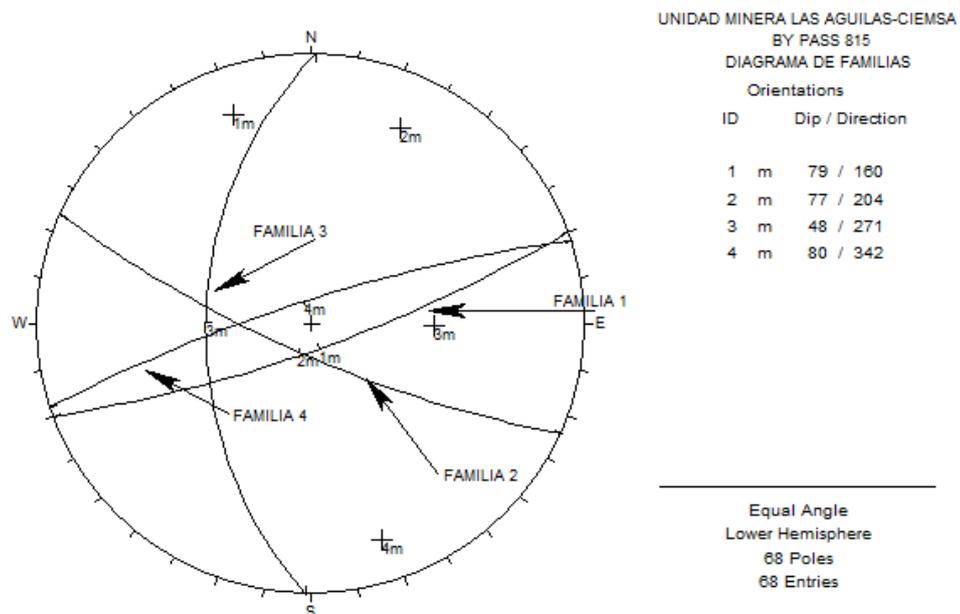
Diagrama de polos y planos progresiva 520.00 m - 529.00 m



Nota. Se realiza el diagrama de polos para identificar las cuñas y bloques.

Figura 19

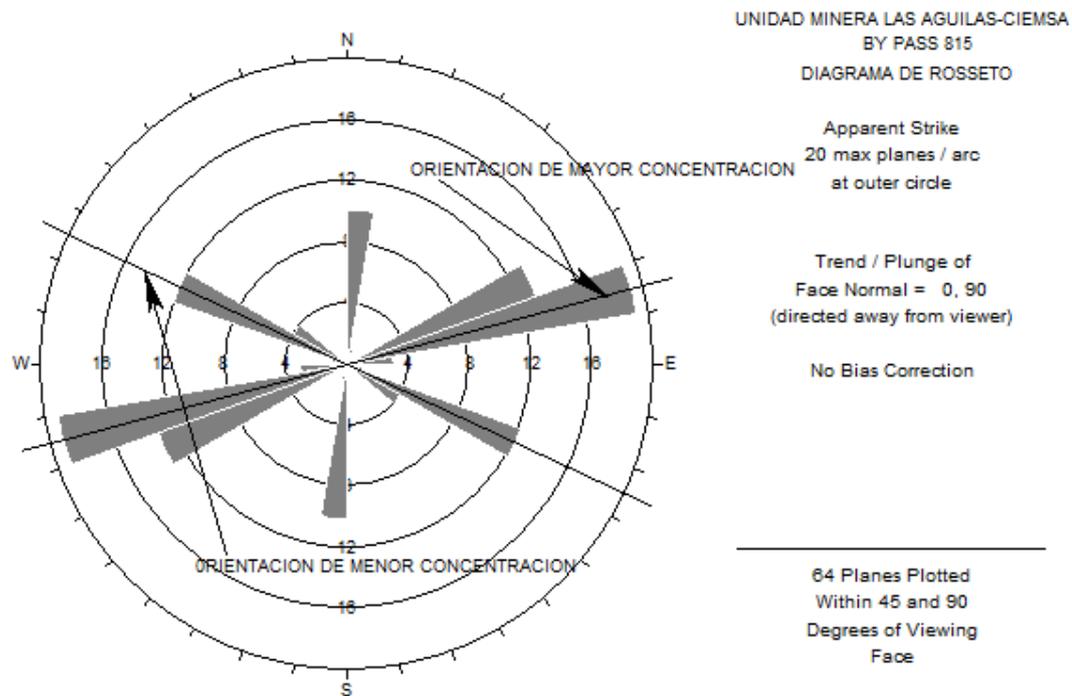
Diagrama de 4 familias en progresiva 520.00 m - 531.00 m



Nota. Se identifica la orientación de mayor y menor de concentración de polos.

Figura 20

Diagrama de roseta progresiva 520.00 m - 529.00 m



Nota. Se identifica la mejor dirección del túnel para una correcta estabilidad.

4.1.4. Determinación de Rock Mass Rating (RMR) 1989 en By Pass 815 NE

El Rock Mass Rating (RMR) de *Bieniawski* (1989) es una clasificación geomecánica propuesto por *Bieniawski* en la evaluación por método empírico el más usado es la versión 1989 que consta de seis parámetros geomecánicos que son:

- Resistencia de la roca intacta
- RQD (Rock Quality Designation)
- Espaciado de Discontinuidades
- Condición de las discontinuidades
 - Longitud de discontinuidades (persistencia)
 - Separación (apertura)
 - Rugosidad
 - Relleno - espesor

- Meteorización

- Agua subterránea.
- Descuento por orientación

El sistema de clasificación geomecánica de Bieniawski RMR (1989) también puede ser expresado en forma de una expresión lineal, Lázaro J. (2018), corroborado por Cecenarro J. (2019), considerando los parámetros geomecánicos mencionados: Resistencia a la compresión uniaxial (σ_c), índice Rock Quality Designation (RQD), espaciamiento (S), condición de las discontinuidades con sus cinco componentes (J_c) y agua subterránea (W_t), el resultado de la suma algebraica resulta el RMR básico (RMR_b).

$$RMR_b = \sigma_c + RQD + S + J_c + W_t$$

Considerando el descuento por orientación A_t a la suma algebraica resulta el RMR corregido (RMR_c).

$$RMR_c = (\sigma_c + RQD + S + J_c + W_t) - A_t$$

4.1.5. Resistencia de roca intacta en By Pass 815 NE, progresiva 520 - 529 m

La resistencia de la roca intacta puede ser determinada en campo basado en pruebas empíricas o en laboratorio ensayando una probeta de roca, Lázaro J. (2018), Se expresa en MPa que soporta la roca antes de romperse la probeta. Las pruebas de resistencia a la compresión simple se realizan en laboratorio de mecánica de rocas, estos valores de resistencia a la compresión simple pueden ser calculados por métodos destructivos y no destructivos, el cálculo de la resistencia compresiva de la roca intacta se ha calculado por método destructivo mediante ensayos de laboratorio, ver Tabla 19, Tabla 20.

4.1.6. Propiedades físicas

Las propiedades Físicas están tomadas de acuerdo a cada progresiva los cuales

han sido evaluadas conforme se han ejecutado las mediciones en el registro lineal a ello se ha adicionado la toma de muestras para la densidad, porosidad y absorción, ver Figura 21.

Figura 21

Resultados de características físico mecánicas – área de geomecánica.

|  | | | Dpto. de Geotecnia – Geomecánica CIEMSA. | | | |
|---|----------------|------------------------------|---|-----------------|--------------------------|----------------------|
| | | | Ernesto S. López Pomareda. Jefe de Geomecánica | | | |
| Muestra | Progresiva (m) | Tipo de roca | Densidad δ (g/cm ³) | Porosidad P (%) | RUC MPa Met. destructivo | RCU Mpa Esclerómetro |
| M-001 | 200-210 | Andesita porfirítica verdosa | 2.77 | 1.23 | 50 | 42.41 |
| M-002 | 220-230 | Andesita porfirítica rojiza | 2.6 | 1.89 | 50.89 | 45.51 |
| M-003 | 320-338 | Andesita porfirítica verdosa | 2.64 | 2.47 | 51.45 | 49.66 |
| M-004 | 460-470 | Andesita porfirítica rojiza | 2.71 | 2.24 | 52.87 | 45.55 |
| M-005 | 480-490 | Andesita porfirítica rojiza | 2.72 | 2.21 | 50.1 | 50 |
| M-006 | 500-510 | Andesita porfirítica verdosa | 2.7 | 3.05 | 53.78 | 52.24 |
| M-007 | 520-529* | Andesita porfirítica verdosa | 2.63 | 1.88 | 54 | 49 |
| M-008 | 530-535 | Andesita portirítica rojiza | 2.59 | 1.93 | 50.31 | 41.89 |
| Promedio | | | 2.67 | 2.1125 | 51.675 | 47.0325 |

Nota. Área geomecánica – CIEMSA.

Tabla 19

Valoración de parámetros de resistencia según Bieniawski 1989

| A. Parámetros de clasificación y sus valoraciones | | | | | | | |
|---|------------------|---------------|--------------|-------------|------------|-----------|---------|
| Parámetro | Rango de Valores | | | | | | |
| Resistencia Compresiva Uniaxial | > 250 MPa | 100 – 250 MPa | 50 – 100 MPa | 25 – 50 MPa | 5 – 25 MPa | 1 – 5 MPa | < 1 MPa |
| Valoración | 15 | 12 | 7 | 4 | 2 | 1 | 0 |

Nota. Bieniawski (1989)

Tabla 20*Valoración de resistencia según familias*

| Familia | RCU (MPa) | Valoración |
|----------------|------------------------------------|-------------------|
| Familia 1 | 54 (50 – 100) – Método destructivo | 7 |
| Familia 2 | 54 (50 – 100) – Método destructivo | 7 |
| Familia 3 | 54 (50 – 100) – Método destructivo | 7 |
| Familia 4 | 54 (50 – 100) – Método destructivo | 7 |

Nota. Se identifica que las 04 familias se encuentran en el rango de 50-100 megapascales con una valoración de 07 en la escala de RMR.

4.1.7. Determinación de RQD (Rock Quality Designation)

El RQD se ha determinado, mediante la evaluación minuciosa en la progresiva establecida en progresiva 520.00 m - 529.00 m By Pass 815 NE se ha descrito las características de las discontinuidades ver Tabla 21, Tabla 22, con propuesta por Hudson 1974:

$$RQD = 100e^{-1.0\lambda}(0.1\lambda + 1)\%$$

$$\lambda = \frac{\text{Numero de Fracturas}}{L_m}$$

Número de fracturas= 84

Longitud mapeada= 09.00 m.

Reemplazando:

$$\lambda = \frac{84,00}{9,00} = 9,3$$

$$\lambda = 9,3$$

Reemplazando en la fórmula:

$$RQD = 100 * e^{-0,1*9,3}(0,1 * 9,3 + 1)\%$$

$$RQD = 100 * 0,39 * 1,9 \%$$

$$RQD = 74\%$$

Tabla 21

Abaco de valoración de RQD según Bieniawski 1989

| Índice RQD | 90% - 100% | 75% - 90% | 50% - 75% | 25% - 50% | < 25% |
|------------|------------|-----------|-----------|-----------|-------|
| Valoración | 20 | 17 | 13 | 8 | 3 |

Nota. Bieniawski (1989)

Tabla 22

Valoración de RQD

| Familia | RQD (%) | Valoración | |
|---|-----------|-----------------|-------|
| Valoración con propuesta de Bieniawski 1989 (Discreto) | Familia 1 | 74% (50% -75%) | 13 |
| | Familia 2 | 74% (50% -75%) | 13 |
| | Familia 3 | 74% (50% -75%) | 13 |
| | Familia 4 | 74 % (50% -75%) | 13 |
| Valoración con propuesta de Bieniawski 1989- (Continuo) | Familia 1 | 74% (50% -75%) | 14.75 |
| | Familia 2 | 74% (50% -75%) | 14.75 |
| | Familia 3 | 74% (50% -75%) | 14.75 |
| | Familia 4 | 74 % (50% -75%) | 14.75 |

Nota. GEOCONTROL (2011)

4.1.8. Determinación espaciada de discontinuidades en progresiva 520 - 529 m

El espaciamiento es la distancia perpendicular entre dos fracturas de una misma familia de discontinuidad. Cuanto mayor es la distancia de espaciamiento mayor es la competencia de la roca, ver Tabla 23, Tabla 24, Tabla 25, Figura 22

Tabla 23

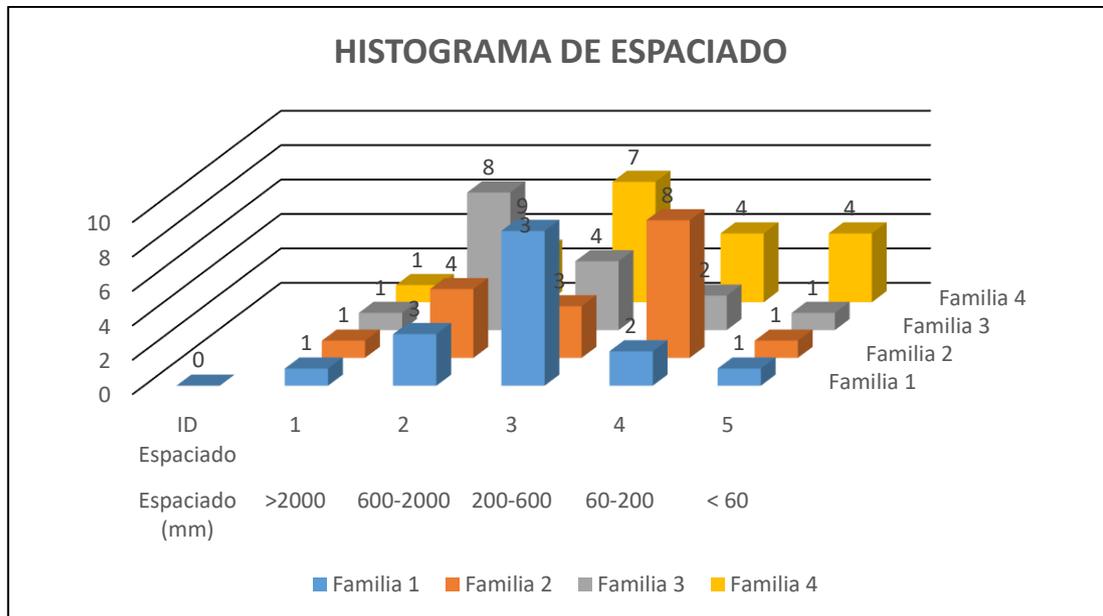
Estadística de espaciado

| Espaciado (mm) | ID Espaciado | Familia 1 | Familia 2 | Familia 3 | Familia 4 |
|----------------|--------------|-----------------|-----------|-----------|-----------|
| | | Numero de datos | | | |
| >2000 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 600-2000 | 2 | 3 | 4 | 8 | 3 |
| 200-600 | 3 | 9 | 3 | 4 | 7 |
| 60-200 | 4 | 2 | 8 | 2 | 4 |
| < 60 | 5 | 1 | 1 | 1 | 4 |

Nota. Se identifica que las 04 familias de discontinuidades están en un RMR de 50-100%.

Figura 22

Histograma de espaciado.



Nota. Se identifica que las 04 familias de discontinuidades están en un RMR de 50-100%.

Se observa:

- Para la Familia 1 predomina el espaciado 200-600 mm.
- Para la Familia 2 Predomina el espaciado 60-200 mm.
- Para la Familia 3 Predomina el espaciado 600 – 2000 mm.

- Para la Familia 4 Predomina el espaciado 200 – 600 mm.

Tabla 24

Abaco de valoración de espaciado según RMR 1989

| Espaciado de discontinuidades | > 2000 mm | 600–2000mm | 200– 600 m | 60 – 200 m | < 60 mm |
|--------------------------------------|---------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Valoración | 20 | 15 | 10 | 8 | 5 |

Nota. Bieniawski (1989)

Tabla 25

Valoración de espaciado

| Familia | Espaciado | Valoración |
|----------------|------------------|-------------------|
| Familia 1 | 200-600 mm | 10 |
| Familia 2 | 60-200 mm | 8 |
| Familia 3 | 200 – 600 mm | 10 |
| Familia 4 | 200 – 600 mm | 10 |

4.1.9. Condición de las discontinuidades en progresiva 520 - 529 m

Persistencia. Corresponde a la longitud de una discontinuidad sobre la masa rocosa, en la zona en que esta aflora, Ver Tabla26. Tabla 27. Tabla 28 y Figura 23

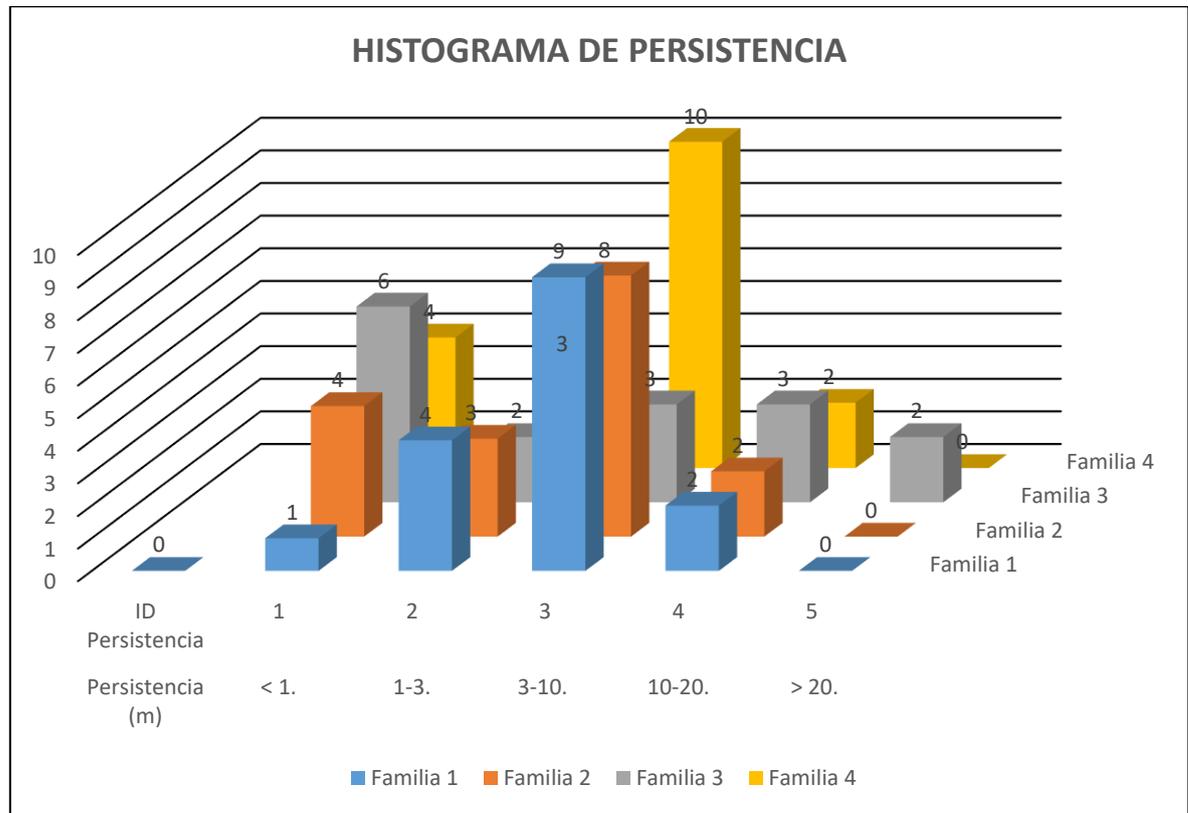
Tabla 26

Estadística de persistencia

| Persistencia (m) | ID Persistencia | Familia 1 | Familia 2 | Familia 3 | Familia 4 |
|-------------------------|------------------------|------------------------|------------------|------------------|------------------|
| | | Numero de datos | | | |
| < 1. | 1 | 1 | 4 | 6 | 4 |
| 1-3. | 2 | 4 | 3 | 2 | 3 |
| 3-10. | 3 | 9 | 8 | 3 | 10 |
| 10-20. | 4 | 2 | 2 | 3 | 2 |
| > 20. | 5 | 0 | 0 | 2 | 0 |

Figura 23

Histograma de persistencia



Se Observa:

- Para la familia 1 Predomina la persistencia 3 - 10 m.
- Para la familia 2 Predomina la persistencia 3 - 10 m.
- Para la familia 3 Predomina la persistencia 1 - 3 m.
- Para la familia 4 Predomina la persistencia 3 - 10 m.

Tabla 27

Abaco de valoración de longitud de discontinuidades según RMR 89

| Valoración de longitud de discontinuidades | | | | | |
|---|-------|---------|----------|-----------|--------|
| Longitud de Discontinuidades (Persistencia) | < 1 m | 1 – 3 m | 3 – 10 m | 10 – 20 m | > 20 m |
| Valoración | 6 | 4 | 2 | 1 | 0 |

Nota. Bieniawski RMR (1989)

Tabla 28

Valoración de persistencia

| Familia | Persistencia | Valoración |
|-----------|--------------|------------|
| Familia 1 | 3 – 10 m | 2 |
| Familia 2 | 3 – 10 m | 2 |
| Familia 3 | 1 - 3 m. | 4 |
| Familia 4 | 3 – 10 m. | 2 |

Separación (apertura). Es la distancia perpendicular de la discontinuidad cuando esta no está rellena. Las discontinuidades también pueden estar cerradas, ver Tabla 29, Tabla 30, Tabla 31, y Figura 24.

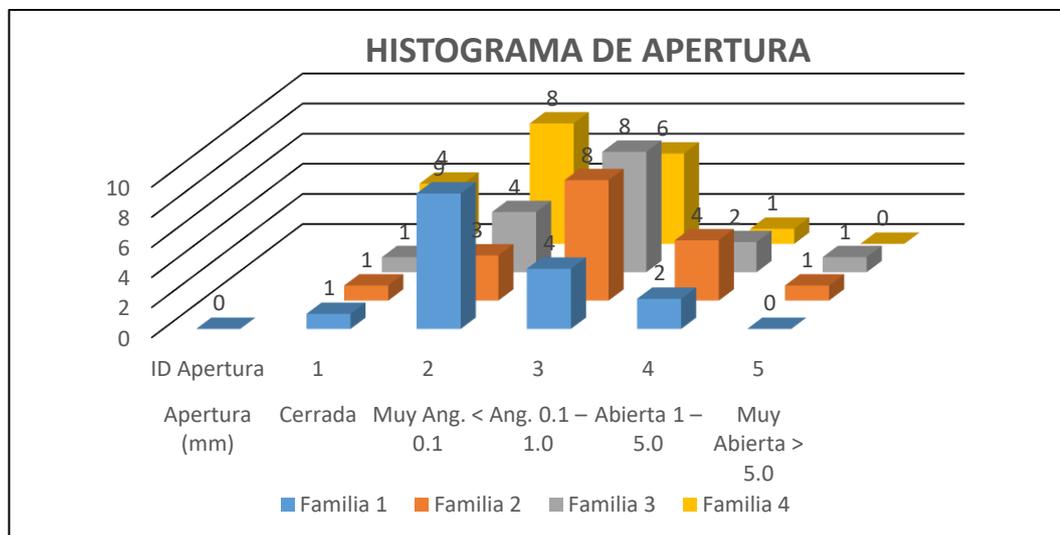
Tabla 29

Estadística de separación o apertura

| Apertura (mm) | ID Apertura | Familia | Familia | Familia | Familia |
|-------------------|-------------|---------|---------|---------|---------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 |
| Cerrada | 1 | 1 | 1 | 1 | 4 |
| Muy Ang. < 0.1 | 2 | 9 | 3 | 4 | 8 |
| Ang. 0.1 – 1.0 | 3 | 4 | 8 | 8 | 6 |
| Abierta 1 – 5.0 | 4 | 2 | 4 | 2 | 1 |
| Muy Abierta > 5.0 | 5 | 0 | 1 | 1 | 0 |

Figura 24

Histograma de apertura



Se observa:

- Para la Familia 1 Predomina apertura cerrada 0.1- 1.0 mm
- Para la Familia 2 Predomina apertura abierta de 1 - 5 mm
- Para la Familia 3 Predomina apertura cerrada 0.1- 1.0 mm
- Para la Familia 4 Predomina apertura cerrada 0.1- 1.0 mm

Tabla 30

Ábaco de valoración de apertura según RMR 89

| Separación (Apertura) | Ninguna | Muy Cerrada < 0.1 | Cerrada 0.1 – 1.0 | Moderadamente Abierta 1 – 5 | Abierta > 5 |
|----------------------------------|----------------|-------------------------------------|------------------------------|--|-----------------------|
| Valoración | 6 | 5 | 4 | 1 | 0 |

Nota. Bieniawski (1989)

Tabla 31

Valoración de apertura

| Familia | Apertura | Valoración |
|----------------|-------------------|-------------------|
| Familia 1 | Cerrada 0.1 – 1.0 | 4 |
| Familia 2 | Abierta 1- 5 | 1 |
| Familia 3 | Cerrada 0.1 – 1.0 | 4 |
| Familia 4 | Cerrada 0.1 – 1.0 | 4 |

Rugosidad. Es el estado de las caras de la discontinuidad, afectado la fricción por su grado de aspereza, pudiendo ser muy lisas, lisas, rugosas o muy rugosas afectado a la estabilidad de la masa de rocas que entran en contacto por la discontinuidad, ver Tabla 32, Tabla 33, Tabla 34, y Figura 25, el procedimiento de cálculos para evaluar y valorar secuencialmente cada uno de los parámetros geomecánicos por método estadístico en respectivas Tablas y Figuras ha sido desarrollado

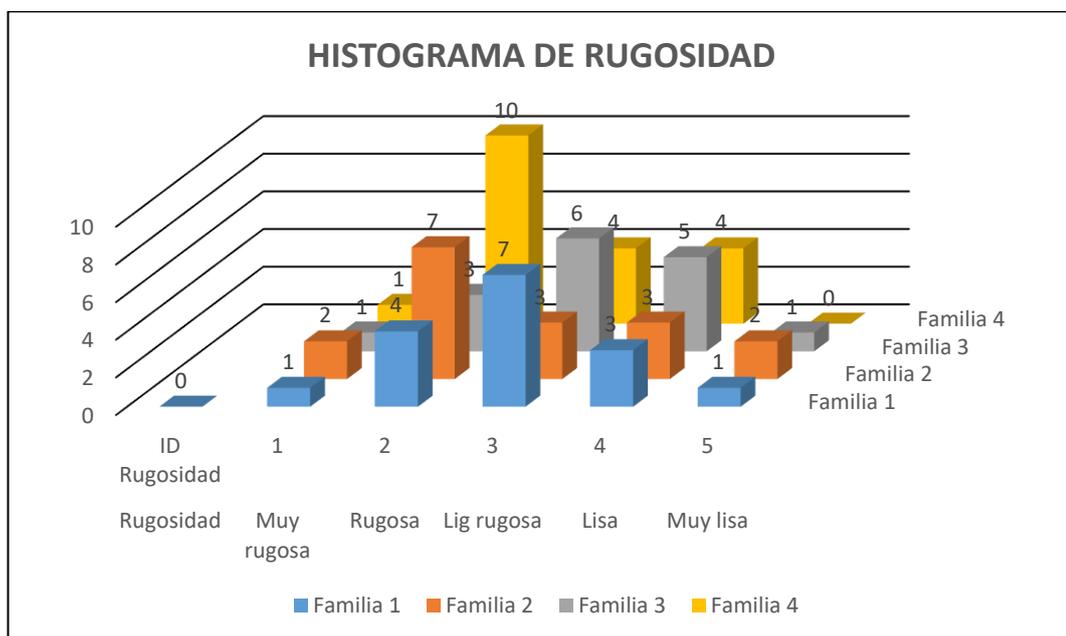
Tabla 32

Estadística de rugosidad

| | | Familia 1 | Familia 2 | Familia 3 | Familia 4 |
|------------|-----------------|-----------------|-----------|-----------|-----------|
| Rugosidad | ID Rugosidad | Numero de datos | | | |
| Muy rugosa | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 |
| Rugosa | 2 | 4 | 7 | 3 | 10 |
| Lig rugosa | 3 | 7 | 3 | 6 | 4 |
| Lisa | 4 | 3 | 3 | 5 | 4 |
| Muy lisa | 5 | 1 | 2 | 1 | 0 |

Figura 25

Histograma de rugosidad



Se observa:

- Para la Familia 1 Predomina ligeramente rugosa.
- Para la Familia 2 Predomina ligeramente rugosa.
- Para la Familia 3 Predomina ligeramente rugosa.
- Para la Familia 4 Predomina ligeramente rugosa.

Tabla 33*Abaco de valoración de rugosidad según RMR 89*

| Rugosidad | Muy Rugosa | Rugosa | Ligeramente rugosa | Lisa | Muy lisa |
|------------------|-------------------|---------------|---------------------------|-------------|-----------------|
| Valoración | 6 | 5 | 3 | 1 | 0 |

Nota. Bieniawski (1989)**Tabla 34***Valoración de rugosidad*

| Familia | Rugosidad | Valoración |
|----------------|--------------------|-------------------|
| Familia 1 | Ligeramente rugosa | 3 |
| Familia 2 | Ligeramente rugosa | 3 |
| Familia 3 | Ligeramente rugosa | 3 |
| Familia 4 | Ligeramente rugosa | 3 |

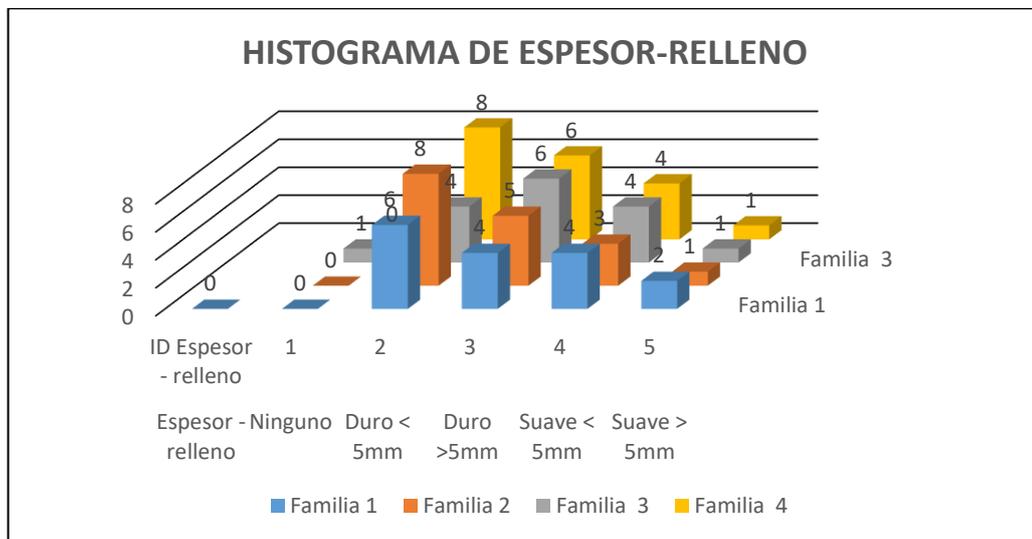
Espesor relleno. El relleno corresponde al material que se encuentra relleno las discontinuidades, generalmente es más blando que el macizo rocoso, ver Tabla 35, Tabla 36, Tabla 37y Figura 26.

Tabla 35*Estadística de espesor – relleno*

| Espesor - relleno | ID Espesor - relleno | Familia 1 | Familia 2 | Familia 3 | Familia 4 |
|--------------------------|-----------------------------|------------------------|------------------|------------------|------------------|
| | | Numero de datos | | | |
| Ninguno | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| Duro < 5mm | 2 | 6 | 8 | 4 | 8 |
| Duro >5mm | 3 | 4 | 5 | 6 | 6 |
| Suave < 5mm | 4 | 4 | 3 | 4 | 4 |
| Suave > 5mm | 5 | 2 | 1 | 1 | 1 |

Figura 26

Histograma de espesor de relleno



Se observa:

- Para la Familia 1 predomina el relleno duro > 5 mm
- Para la Familia 2 predomina el relleno suave < 5 mm
- Para la Familia 3 predomina el relleno duro > 5 mm
- Para la Familia 4 predomina el relleno duro > 5 mm

Tabla 36

Ábaco de valoración de relleno según Bieniawski 1989

| Relleno | Ninguno | Relleno duro < 5 mm | Relleno duro > 5 mm | Relleno suave < 5 mm | Relleno suave > 5 mm |
|------------|---------|---------------------|---------------------|----------------------|----------------------|
| Valoración | 6 | 4 | 2 | 1 | 0 |

Nota. Bieniawski (1989)

Tabla 37

Valoración de relleno

| Familia | Relleno | Valoración |
|-----------|----------------------|------------|
| Familia 1 | Relleno duro > 5 mm | 2 |
| Familia 2 | Relleno suave < 5 mm | 1 |
| Familia 3 | Relleno suave < 5 mm | 1 |
| Familia 4 | Relleno duro > 5 mm | 2 |

Meteorización. La meteorización es la descomposición de las rocas que se encuentran en la superficie de la Tierra, por medio de la acción del agua de lluvia, viento, nieve y por los cambios extremos de temperatura y la actividad biológica, es decir que la meteorización es el proceso en el cual las rocas o los suelos se disuelven o se desgastan en pedazos cada vez más pequeños, situación que es ocasionada por diferentes factores ambientales particulares, como los que mencionamos anteriormente. En términos geológicos, se define como la desintegración de rocas influenciadas por la vida animal y vegetal, el agua y las fuerzas atmosféricas en general, ver Tabla 38, 39, Tabla 40 y Figura 27

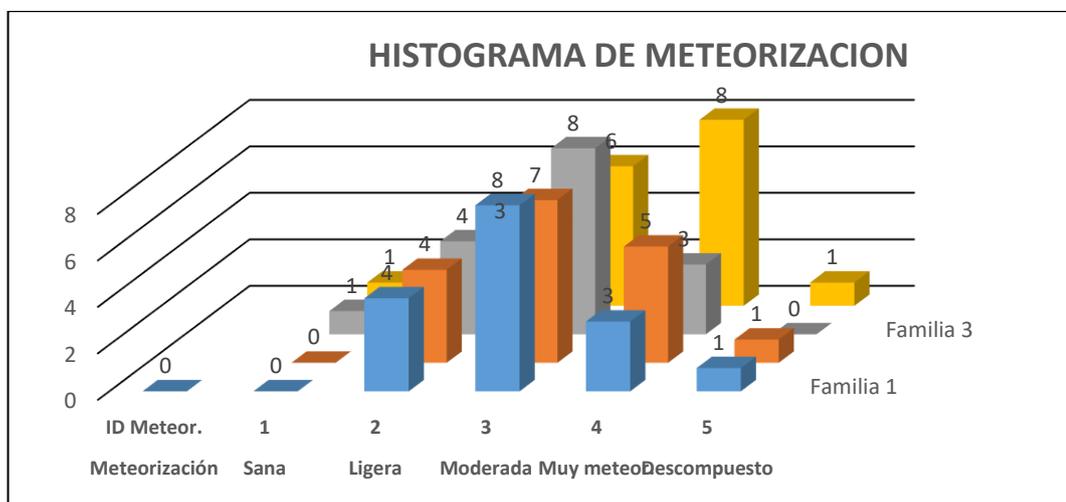
Tabla 38

Estadística de meteorización

| | | Familia 1 | Familia 2 | Familia 3 | Familia 4 |
|----------------------|-----------|------------------------|-----------|-----------|-----------|
| Meteorización | ID | Numero de datos | | | |
| Sana | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| Ligera | 2 | 4 | 4 | 4 | 3 |
| Moderada | 3 | 8 | 7 | 8 | 6 |
| Muy | 4 | 3 | 5 | 3 | 8 |
| Descompuesto | 5 | 1 | 1 | 0 | 1 |

Figura 27

Histograma de meteorización



Se Observa:

- Para la Familia 1 predomina la meteorización moderada.
- Para la Familia 2 predomina la meteorización ligera
- Para la Familia 3 Predomina la meteorización moderada
- Para la Familia 4 Predomina la meteorización moderada.

Tabla 39

Ábaco de valoración de meteorización según Bieniawski 1989

| Motorización | Sana | Ligera | Moderada | Muy meteoro. | Descompuesta |
|--------------|------|--------|----------|--------------|--------------|
| Valoración | 6 | 5 | 3 | 1 | 0 |

Nota. Bieniawski (1989)

Tabla 40

Valoración de meteorización

| Familia | Motorización | Valoración |
|-----------|--------------|------------|
| Familia 1 | Moderada | 3 |
| Familia 2 | Ligera | 5 |
| Familia 3 | Moderada | 3 |
| Familia 4 | Moderada | 3 |

Agua subterránea. Es la presencia de agua subterránea que brota por las aperturas de las discontinuidades, ver Tabla 41, Tabla 42, Tabla 43 y Figura 28. Los resultados de RMR básico y RMR corregido por cada familia se puede observar en Tabla 44, Tabla 45, Tabla 46, Tabla 47, Tabla 48, Tabla 49, Tabla 50, Tabla 51, Tabla 52, Tabla 53, Tabla 54, Tabla 55, Tabla 56, Tabla 57, Tabla 58, Tabla 59, Tabla 60.

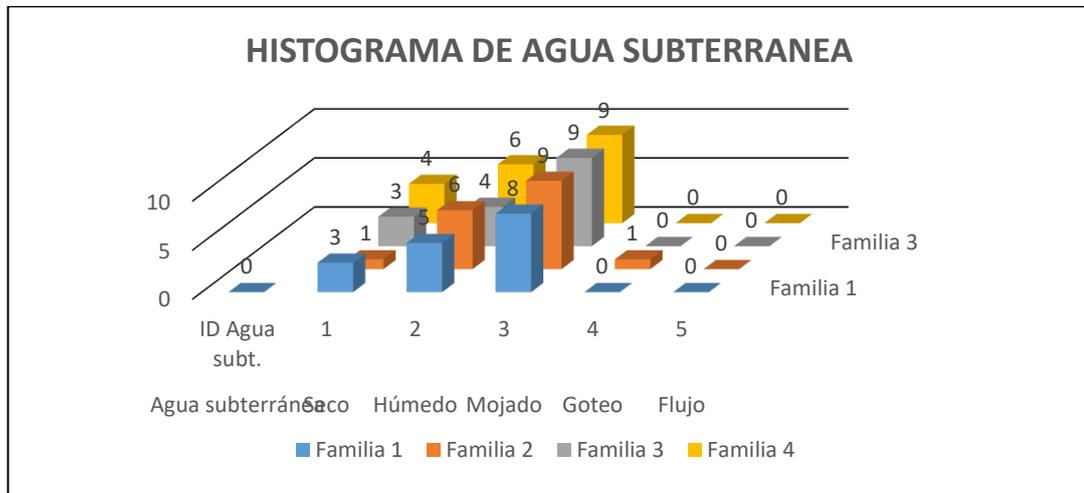
Tabla 41

Estadística de agua subterránea

| | | Familia 1 | Familia 2 | Familia 3 | Familia 4 |
|-------------------------|-----------|------------------------|-----------|-----------|-----------|
| Agua subterránea | ID | Número de Datos | | | |
| Seco | 1 | 3 | 1 | 3 | 4 |
| Húmedo | 2 | 5 | 6 | 4 | 6 |
| Mojado | 3 | 8 | 9 | 9 | 9 |
| Goteo | 4 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| Flujo | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Figura 28

Histograma de agua subterránea



Se Observa:

- Para la Familia 1 Predomina la zona húmeda.
- Para la Familia 2 Predomina la zona húmeda.
- Para la Familia 2 Predomina la zona húmeda.
- Para la Familia 2 Predomina la zona húmeda.

Tabla 42

Ábaco de valoración de agua subterránea según Bieniawski 1989

| 5 | Agua subterránea | Flujo por 10 m de longitud | Ninguno 0 completamente seco | < 10 <0.1 Húmedo | 10 – 25 0.1 – 0.2 Mojado | 20 – 125 0.2 – 0.5 Goteo | > 125 > 0.5 Flujo |
|---|------------------|----------------------------|------------------------------|------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------|
| | Valoración | | 15 | 10 | 7 | 4 | 0 |

Nota. Bieniawski (1989)

Tabla 43

Valoraciones de agua subterránea

| Familia | Agua Subterránea | Valoración |
|-----------|------------------|------------|
| Familia 1 | Húmedo | 10 |
| Familia 2 | Húmedo | 10 |
| Familia 3 | Húmedo | 10 |
| Familia 4 | Húmedo | 10 |

4.1.10. Resultados de RMR Básico

Tabla 44

RMR básico por familia progresiva 520m – 529m en By Pass 815 NE

| RMR básico por familia progresiva 520,00 m – 529,00 m en By Pass 815 NE | | | | |
|--|-------------------|-----------------------------------|----------------------|-------|
| ID | Parámetros | Características | Valoración | |
| Familia 1 | 1 | Resistencia de la roca intacta | 54 (50 – 100) MPa | 7 |
| | 2 | RQD | 74 (50% -75%) | 14.75 |
| | 3 | Espaciado de Discontinuidades | 200-600 mm | 10 |
| | | Condición de las discontinuidades | | |
| | - | Longitud de discontinuidades | 3 – 10 m | 2 |
| | - | Separación (apertura) | Cerrada 0.1 – 1.0 mm | 4 |
| | 4 | Rugosidad | Ligeramente rugosa | 3 |
| | - | Relleno - espesor | Relleno duro > 5 | 2 |
| | - | Meteorización | Moderada | 3 |
| | 5 | Agua subterránea | Húmedo | 10 |
| RMR básico (RMR_b) | | | 55.75 | |
| Familia 2 | 1 | Resistencia de la roca intacta | 54 (50 – 100) MPa | 7 |
| | 2 | RQD | 74 (50% -75%) | 14.75 |
| | 3 | Espaciado de Discontinuidades | 60-200 mm | 8 |
| | | Condición de las discontinuidades | | |
| | - | Longitud de discontinuidades | 3 – 10 m | 2 |
| | - | Separación (apertura) | Abierta 1- 5 mm | 1 |
| | 4 | Rugosidad | Ligeramente Rugosa | 3 |
| | - | Relleno - espesor | Relleno suave < 5 | 1 |
| | - | Meteorización | Ligera | 5 |
| | 5 | Agua subterránea | Húmedo | 10 |
| RMR básico (RMR_b) | | | 51.75 | |
| Familia 3 | 1 | Resistencia de la roca intacta | 54 (50 – 100) MPa | 7 |
| | 2 | RQD | 74 (50% -75%) | 14.75 |
| | 3 | Espaciado de Discontinuidades | 200 – 600 mm | 10 |
| | | Condición de las discontinuidades | | |
| | - | Longitud de discontinuidades | 1 - 3 m. | 4 |
| | - | Separación (apertura) | Cerrada 0.1 – 1.0 | 4 |
| | 4 | Rugosidad | Ligeramente rugosa | 3 |
| | - | Relleno - espesor | Relleno suave < 5 | 1 |
| | - | Meteorización | Moderada | 3 |
| | 5 | Agua subterránea | Húmedo | 10 |
| RMR básico (RMR_b) | | | 56.75 | |
| Familia 4 | 1 | Resistencia de la roca intacta | 54 (50 – 100) MPa | 7 |
| | 2 | RQD | 74 (50% -75%) | 14.75 |
| | 3 | Espaciado de Discontinuidades | 200 – 600 mm | 10 |
| | | Condición de las discontinuidades | | |
| | - | Longitud de discontinuidades | 3 – 10 m | 2 |
| | - | Separación (apertura) | Cerrada 0.1 – 1.0 mm | 4 |
| | 4 | Rugosidad | Ligeramente rugosa | 3 |
| | - | Relleno - espesor | Relleno duro > 5 | 2 |
| | - | Meteorización | Moderada | 3 |
| | 5 | Agua subterránea | Húmedo | 10 |
| RMR básico (RMR_b) | | | 55.75 | |



Tabla 45

Ábaco de ajuste por orientación de discontinuidades

| Efectos de la orientación y buzamiento de las discontinuidades en tunelería | | | |
|--|---|--|----------------------|
| Rumbo perpendicular al eje del túnel | | Rumbo paralelo al eje del túnel | |
| Avance con el buzamiento Buz. 45° - 90° | Avance con el buz. Buz. 20° - 45° | Buzamiento 45° - 90° | Buzamiento 20° - 45° |
| Muy favorable | Favorable | Muy desfavorable | Regular |
| Avance contra el Buz. Buz. 45° - 90° | Avance contra el Buz. Buz. 20° - 45° | Buzamiento 0° - 20°, independiente del rumbo | |
| Moderado | Desfavorable | Regular | |

Nota. Bieniawski RMR (1989)

Tabla 46

Abaco de ajuste de la valoración por orientación de las discontinuidades

| Ajuste de la valoración por orientación de las discontinuidades | | | | | |
|--|---------------|-----------|---------|--------------|------------------|
| Parámetro | Muy favorable | Favorable | Regular | Desfavorable | Muy desfavorable |
| Túneles y minas | 0 | -2 | -5 | -10 | -12 |
| Valoración Cimentaciones | 0 | -2 | -7 | -15 | -25 |
| Taludes | 0 | -2 | -25 | -50 | -60 |

Nota. Bieniawski RMR (1989)



4.1.11. Resultados de calidad del macizo rocoso de acuerdo a RMR 1989

Tabla 47

Sinopsis de calidad de macizo rocoso en Bypass 815 NE

Calidad de macizo rocoso en familias de acuerdo a RMR 1989 corregido By Pass 815 NE

| Familias | Condición de avance | | Valoración RMR | Calidad | Descripción |
|---|----------------------------|-------------------------|-----------------------|----------------|----------------------------|
| Fam. 1 | Avance | Muy desfavorable | 43.75 | III | Roca regular |
| Fam. 2 | Avance | Muy desfavorable | 39.75 | IV | Roca mala |
| Fam. 3 | Avance | Muy desfavorable | 44.75 | III | Roca regular |
| Fam. 4 | Avance | Muy desfavorable | 43.75 | III | Roca regular |
| Calidad de macizo en Bypass 815 NE, progresiva 520.00 m - 529.00 m | | Muy desfavorable | 39.75-44.75 | IV -III | Roca Mala - Regular |

Tabla 48

Guía para la excavación y soporte en túneles y obras de ingeniería

| Clase de masa rocosa | Excavación | Pernos de roca (20 mm de diámetro, completamente inyectados) | | Shotcrete | Cimbras |
|---------------------------------------|--|---|--|--|--|
| | | | | | |
| I. ROCA MUY BUENA RMR: 81 – 100 | Avance de 3 m a sección completa | Generalmente no se requiere sostenimiento excepto pernos ocasionales | | | |
| II. ROCA BUENA RMR: 61 – 80 | Avance de 1 - 1.5 m a sección completa. Sostenimiento completo a 20 m del frente. | Pernos locales de 3 m en la corona, espaciados a 2.5 m con malla de alambre ocasionalmente | | 50 mm en la corona donde se requiera. | Ninguno |
| III. ROCA REGULAR RMR: 41 – 60 | Media sección superior y banqueo. Avance de 1.5 - 3 m. Iniciar el sostenimiento después de cada voladura. | Pernos sistemáticos de 4 m de longitud, espaciados 1.5 – 2.0 m en la corona y en las paredes, con malla de alambres en la corona. | | 50 – 100 mm en la corona y 30 mm en las paredes | Ninguno |
| IV. ROCA MALA RMR: 21 – 40 | Media sección superior y banqueo. Avance de 1.5 - 3 m. Iniciar el sostenimiento después de cada voladura, sostenimiento completo a 10 m del frente. | Pernos sistemáticos de 4 - 5 m de longitud, espaciados de 1 - 1.5 m con malla de alambres en la corona y en las paredes. | | 100 - 150 mm en la corona y 100 mm en las paredes. | Cimbras ligeras a medianas, espaciados a 1.5 m donde sean necesarios. |
| V. ROCA MUY MALA RMR: < 20 | Galerías múltiples, avance de 0.5 - 1.5 m. Instalar el sostenimiento junto al avance de la excavación. Shotcrete tan pronto como sea posible después de la voladura. | Pernos sistemáticos de 5 - 6 m de longitud, espaciados de 1 - 1.5 m en la corona y en las paredes. Instalación de pernos en el piso. | | 150 - 200 mm en la corona, 150 mm en las paredes y 50 mm en el frente. | Cimbras medianas a pesadas, espaciados a 0.75 m con encostillado de acero y marchavantes de ser necesario, cerrar la sección (invert). |

Nota. Adaptado de *Engineering rock mass classifications*. New York: John Wiley & Sons.

Bongiorno F., Belandria N., por Z. T. Bieniawski, 1989

Tabla 49

Valoración del macizo rocoso (R.M.R.) EG – 01 By Pass 815 NE

| PARAMETRO | VALORACION DEL MACIZO ROCOSO (R.M.R.) EG – 01 BY PASS 815 NE | | | | | VALORACION |
|---|--|----------------------|---------------------|---------------------|--------------------------------|--------------|
| | RANGO DE VALORES | | | | | |
| R. COMPRESION UNIAxIAL (Mpa) | >250 (15) | 100-250 (12) | 50-100 (7) | 25-50 (4) | VALOR ESTIMADO <25(2) <5(1) | 1 |
| RQD % | 90-100 (20) | 75-90 (17) | 50-75 (13) | 25-50 (8) | <25 (3) | 2 |
| ESPACIAMIENTO (m) | >2 (20) | 0,6-2 (15) | 0,2-0,6 (10) | 0,06-0,2 (8) | < 0,06 (5) | 3 |
| PERSISTENCIA | <1m long. (6) | 1-3 m Long. (4) | 3-10m (2) | 10-20 m (1) | > 20 m (0) | 4A |
| APERTURA | Cerrada (6) | <0.1mm apert. (5) | 0.1-1.0mm (4) | 1 - 5 mm (1) | > 5 mm (0) | 4B |
| RUGOSIDAD | Muy rugosa (6) | Rugosa (5) | Lig.rugosa (3) | Lisa (1) | Espejo de falla (0) | 4C |
| RELLENO | Limpia (6) | Duro < 5mm (4) | Duro> 5mm (2) | Suave < 5 mm (1) | Suave > 5 mm (0) | 4D |
| INTEMPERIZA. | Sana (6) | Lig. Intempe. (5) | Mod.Intempe. (3) | Intempe. (2) | Descompuesta (0) | 4E |
| AGUA SUBTERRANEA | Seco (15) | Humedo (10) | Mojado (7) | Goteo (4) | Flujo (0) | 5 |
| VALOR TOTAL RMR (Suma de valoración 1 a 5) = | | | | | | 55,75 |
| AJUSTE EN LA EVALUACION POR ORIENTACION DE FISURA RUMBO PARALELO AL EJE DE LA EXCAVACION | | | | | | |
| RUMBO PERPENDICULAR AL EJE DE LA EXCAVACION EXCAVACION EN EL SENTIDO DEL BUZAMIENTO | | | | | | |
| BUZAMIENTO | 45° | BUZAMIENTO | BUZAMIENTO | BUZAMIENTO | BUZAMIENTO | BUZAMIENTO |
| - 90° | 20° - 45° | 45° - 90° | 20° - 45° | 45° - 90° | 20° - 45° | 0° - 20° |
| MUY FAVORABLE | FAVORABLE | REGULAR | DEFSAVORABLE | DEFSAVORABLE | REGULAR | MALA |
| 0 | -2 | -5 | -10 | -12 | -5 | -5 |
| VALOR TOTAL RMR (Suma de valoración 1 a 5) = | | | | | | 43,75 |
| CLASE DE MACIZO ROCOSO | | | | | | |
| RMR | 100 - 81 | 80 - 61 | 60 - 41 | 40 - 21 | 20 - 0 | III |
| DESCRIPCION | I MUY BUENA | II BUENA | III REGULAR | IV MALA | V MUY MALA | |

Tabla 50

Valoración del macizo rocoso (R.M.R.) EG – 02 By Pass 815 NE

| PARAMETRO | RANGO DE VALORES | | | | | VALORACION |
|---|-------------------|----------------------|----------------------|----------------------|-------------------------|------------------------|
| | VALOR ESTIMADO | VALOR ESTIMADO | VALOR ESTIMADO | VALOR ESTIMADO | VALOR ESTIMADO | |
| R. COMPRES. UNIAIXIAL (Mpa) | >250 (15) | 100-250 (12) | 50-100 (7) | 25-50 (4) | <25(2) <5(1) | 1 |
| RQD % | 90-100 (20) | 75-90 (17) | 50-75 (13) | 25-50 (8) | <25 (3) | 2 |
| ESPACIAMIENTO (m) | >2 (20) | 0.6-2 (15) | 0.2-0.6 (10) | 0.06-0.2 (8) | < 0.06 (5) | 3 |
| PERSISTENCIA | <1m long. (6) | 1-3 m Long. (4) | 3-10m (2) | 10-20 m (1) | > 20 m (0) | 4A |
| APERTURA | Cerrada (6) | <0.1mm apert. (5) | 0.1-1.0mm (4) | 1 - 5 mm (1) | > 5 mm (0) | 4B |
| RUGOSIDAD | Muy rugosa (6) | Rugosa (5) | Lig.rugosa (3) | Lisa (1) | Especio de falla (0) | 4C |
| RELLENO | Limpia (6) | Duro < 5mm (4) | Duro> 5mm (2) | Suave < 5 mm (1) | Suave > 5 mm (0) | 4D |
| INTEMPERIZA. | Sana (6) | Lig. Intempe. (5) | Mod.Intempe. (3) | Muy Intempe. (2) | Descompuesta (0) | 4E |
| AGUA SUBTERRANEA | Seco (15) | Humedo (10) | Mojado (7) | Goteo (4) | Flujo (0) | 5 |
| VALOR TOTAL RMR (Suma de valoración 1 a 5) = | | | | | | 54.75 |
| AJUSTE EN LA EVALUACION POR ORIENTACION DE FISURA | | | | | | |
| RUMBO PERPENDICULAR AL EJE DE LA EXCAVACION | | | | | | |
| EXCAVACION EN EL SENTIDO DEL RUMBO PARALELO AL EJE DE LA EXCAVACION | | | | | | |
| BUZAMIENTO 90° | 45° - 20° - 45° | BUZAMIENTO 45° - 90° | BUZAMIENTO 20° - 45° | BUZAMIENTO 45° - 90° | BUZAMIENTO 20° - 45° | BUZAMIENTO 0° - 20° |
| MUY FAVORABLE | FAVORABLE | REGULAR | DESFAVORABLE | MUY DESFAVORABLE | REGULAR | MALA |
| 0 | -2 | -5 | -10 | -12 | -5 | -5 |
| VALOR AJUSTADO DEL RMR | | | | | | 42.75 |
| RMR | 100 - 81 | 80 - 61 | 60 - 41 | 40 - 21 | 20 - 0 | CLASE DE MACIZO ROCOSO |
| DESCRIPCION | I MUY BUENA | II BUENA | III REGULAR | IV MALA | V MUY MALA | III |

Tabla 51

Valoración del macizo rocoso (R.M.R.) EG – 03 By Pass 815 NE

| PARAMETRO | | RANGO DE VALORES | | | | | VALOR ESTIMADO | VALORACION |
|---|--------------------------------|----------------------------------|--------------------------------|------------------------------|--------------------------------|----------------------------|-----------------|------------|
| VALORACIÓN DEL MACIZO ROCOSO (R.M.R.) EG – 03 BY PASS 815 NE | | | | | | | | |
| R. COMPRES. UNIAIXIAL (Mpa) | >250 (15) 90-100 (20) | 100-250 (12) 75-90 (17) | 50-100 (7) 50-75 (13) | 25-50 (4) 25-50 (8) | 50-100 (7) 50-75 (13) | <25(2) <5(1) <25 (3) | 1 2 | |
| RQD % | >2 (20) | 0,6-2 (15) | 0,2-0,6 (10) | 0,06-0,2 (8) | 0,06-0,2 (8) | <0,06 > 20 m (5) | 3 4 | |
| ESPACIAMIENTO (m) | <1m long. (6) | 1-3 m Long. (4) | 3-10m (2) | 10-20 m (1) | 10-20 m (1) | > 20 m > 5 mm (0) | 4A 4B | |
| PERSISTENCIA | Cerrada (6) | <0.1mm apert. (5) | 0.1-1.0mm (4) | 1-5 mm (1) | 1-5 mm (1) | Espejo de falla (0) | 1 | |
| CONDICION DE RUGOSIDAD | Muy rugosa (6) | Rugosa (5) | Lig.rugosa (3) | Duro > 5mm (2) | Lisa (1) | Suave > 5 mm (0) | 3 | |
| JUNTAS RELLENO | Limpia (6) | Duro < 5mm (4) | Lig. Intempe. (5) | Mod Intempe. (3) | Suave < 5 mm (1) | Descompuesta (0) | 1 | |
| INTEMPERIZA. | Sana (6) | Lig. Intempe. (5) | Humedo (10) | Mojado (7) | Muy Intempe. (2) | Flujo (0) | 3 | |
| AGUA SUBTERRANEA | Seco (15) | Humedo (10) | Mojado (7) | Goteo (4) | Goteo (4) | Flujo (0) | 10 | |
| VALOR TOTAL RMR (Suma de valoración 1 a 5) = | | | | | | | 51.75 | |
| AJUSTE EN LA EVALUACION POR ORIENTACION DE FISURA RUMBO PARALELO AL EJE DE LA EXCAVACION | | | | | | | | |
| RUMBO PERPENDICULAR AL EJE DE LA EXCAVACION | | | | | | | | |
| EXCAVACION EN EL SENTIDO DEL BUZAMIENTO | | | | | | | | |
| BUZAMIENTO 90° | 45° - BUZAMIENTO 20° - 45° | BUZAMIENTO 45° - 90° | BUZAMIENTO 20° - 45° | BUZAMIENTO 45° - 90° | BUZAMIENTO 20° - 45° | BUZAMIENTO 0° - 20° | BUZAMIENTO MALA | |
| MUY FAVORABLE | FAVORABLE | REGULAR | DEFAVORABLE | DEFAVORABLE | DEFAVORABLE | REGULAR | REGULAR | |
| 0 | -2 | -5 | -10 | -12 | -5 | -5 | -5 | |
| VALOR AJUSTADO DEL RMR | | | | | | | 39.75 | |
| CLASE DE MACIZO ROCOSO | | | | | | | | |
| RMR | 100 - 81 | 80 - 61 | 60 - 41 | 40 - 21 | 20 - 0 | | | |
| DESCRIPCION | I MUY BUENA | II BUENA | III REGULAR | IV MALA | V MUY MALA | IV | | |

Tabla 52

Valoración del macizo rocoso (R.M.R.) EG – 04 by pass 815 NE

| PARAMETRO | RANGO DE VALORES | | | | | VALORACION |
|---|-------------------|----------------------|----------------------|----------------------|------------------------|------------------------|
| | VALOR ESTIMADO | VALOR ESTIMADO | VALOR ESTIMADO | VALOR ESTIMADO | VALOR ESTIMADO | |
| R. COMPRES. UNIAIXIAL (Mpa) | >250 (15) | 100-250 (12) | 50-100 (7) | 25-50 (4) | <25(2) <5(1) | 4 |
| RQD % | 90-100 (20) | 75-90 (17) | 50-75 (13) | 25-50 (8) | <25 (3) | 14.75 |
| ESPACIAMIENTO (m) | >2 (20) | 0.6-2 (15) | 0.2-0.6 (10) | 0.06-0.2 (8) | <0.06 (5) | 10 |
| PERSISTENCIA | <1m long. (6) | 1-3 m Long. (4) | 3-10m (2) | 10-20 m (1) | > 20 m (0) | 4 |
| CONDICION DE APERTURA | Cerrada (6) | <0.1mm apert. (5) | 0.1-1.0mm (4) | 1-5 mm (1) | > 5 mm (0) | 4 |
| RUGOSIDAD | Muy rugosa (6) | Rugosa (5) | Lig.rugosa (3) | Lisa (1) | Espeso de falla (0) | 3 |
| RELLENO | Limpia (6) | Duro < 5mm (4) | Duro> 5mm (2) | Suave < 5 mm (1) | Suave > 5 mm (0) | 2 |
| INTEMPERIZA. | Sana (6) | Lig. Intempe. (5) | Mod.Intempe. (3) | Muy Intempe. (2) | Descompuesta (0) | 3 |
| AGUA SUBTERRANEA | Seco (15) | Humedo (10) | Mojado (7) | Goteo (4) | Flujo (0) | 10 |
| VALOR TOTAL RMR (Suma de valoración 1 a 5) = | | | | | | 54.75 |
| AJUSTE EN LA EVALUACION POR ORIENTACION DE FISURA | | | | | | |
| RUMBO PERPENDICULAR AL EJE DE LA EXCAVACION | | | | | | |
| EXCAVACION EN EL SENTIDO DEL RUMBO PARALELO AL EJE DE LA EXCAVACION | | | | | | |
| BUZAMIENTO | | | | | | |
| BUZAMIENTO 90° | 45° - 20° - 45° | BUZAMIENTO 45° - 90° | BUZAMIENTO 20° - 45° | BUZAMIENTO 45° - 90° | BUZAMIENTO 20° - 45° | BUZAMIENTO 0° - 20° |
| MUY FAVORABLE | FAVORABLE | REGULAR | DEFAVORABLE | MUY DEFAVORABLE | REGULAR | MALA |
| 0 | -2 | -5 | -10 | -12 | -5 | -5 |
| VALOR AJUSTADO DEL RMR | | | | | | 42.75 |
| RMR | 100 - 81 | 80 - 61 | 60 - 41 | 40 - 21 | 20 - 0 | III |
| DESCRIPCION | I MUY BUENA | II BUENA | III REGULAR | IV MALA | V MUY MALA | CLASE DE MACIZO ROCOSO |

Tabla 53

Valoración del macizo rocoso (R.M.R.) EG – 05 By Pass 815 NE.

| PARAMETRO | RANGO DE VALORES | | | | | | | | | | VALORACION |
|---|------------------|------------|---------------|--------------|------------------|------------------------|--------------|------------|-----------------|------------|------------|
| | VALOR ESTIMADO | (1) | (2) | (3) | (4) | (5) | (6) | (7) | (8) | (9) | |
| R. COMPRESION UNIAxIAL (Mpa) | >250 | (15) | 100-250 | (12) | 50-100 | (7) | 25-50 | (4) | <25(2) <5(1) | 7 | |
| RQD % | 90-100 | (20) | 75-90 | (17) | 50-75 | (13) | 25-50 | (8) | <25 | 14.75 | |
| ESPACIAMIENTO (m) | >2 | (20) | 0.6-2 | (15) | 0.2-0.6 | (10) | 0.06-0.2 | (8) | <0.06 | 8 | |
| PERSISTENCIA | <1m long. | (6) | 1-3 m Long. | (4) | 3-10m | (2) | 10-20 m | (1) | >20 m | 4 | |
| CONDICION DE APERTURA | Cerrada | (6) | <0.1mm apert. | (5) | 0.1-1.0mm | (4) | 1 - 5 mm | (1) | > 5 mm | 1 | |
| CONDICION DE RUGOSIDAD | Muy rugosa | (6) | Rugosa | (5) | Lig.rugosa | (3) | Lisa | (1) | Espejo de falla | 3 | |
| CONDICION DE RELLENO | Limpia | (6) | Duro < 5mm | (4) | Duro > 5mm | (2) | Suave < 5 mm | (1) | Suave > 5 mm | 1 | |
| CONDICION DE INTEMPERIZA. | Sana | (6) | Lig. Intempe. | (5) | Mod.Intempe. | (3) | Muy Intempe. | (2) | Descompuesta | 3 | |
| AGUA SUBTERRANEA | Seco | (15) | Humedo | (10) | Mojado | (7) | Goteo | (4) | Flujo | 10 | |
| VALOR TOTAL RMR (Suma de valoración 1 a 5) = 51.75 | | | | | | | | | | | |
| AJUSTE EN LA EVALUACION POR ORIENTACION DE FISURA | | | | | | | | | | | |
| RUMBO PERPENDICULAR AL EJE DE LA EXCAVACION | | | | | | | | | | | |
| RUMBO PARALELO AL EJE DE LA EXCAVACION | | | | | | | | | | | |
| EXCAVACION EN EL SENTIDO DEL BUZAMIENTO | | | | | | | | | | | |
| EXCAVACION CONTRA EL BUZAMIENTO | | | | | | | | | | | |
| BUZAMIENTO | 45° - 90° | BUZAMIENTO | 45° - 90° | BUZAMIENTO | 20° - 45° | BUZAMIENTO | 20° - 45° | BUZAMIENTO | 20° - 45° | BUZAMIENTO | 0° - 20° |
| MUY FAVORABLE | FAVORABLE | REGULAR | DESFAVORABLE | DESFAVORABLE | MUY DESFAVORABLE | MUY DESFAVORABLE | REGULAR | REGULAR | REGULAR | REGULAR | REGULAR |
| 0 | -2 | -5 | -10 | -12 | -12 | -5 | -5 | -5 | -5 | -5 | -12 |
| VALOR AJUSTADO DEL RMR 39.75 | | | | | | | | | | | |
| RMR | 100 - 81 | 80 - 61 | 60 - 41 | 40 - 21 | 20 - 0 | CLASE DE MACIZO ROCOSO | | | | | |
| DESCRIPCION | I MUY BUENA | II BUENA | III REGULAR | IV MALA | V MUY MALA | | | | | | |

Tabla 54

Valoración del macizo rocoso (R.M.R.) EG – 06 By Pass 815 NE

| PARAMETRO | RANGO DE VALORES | | | | | VALORACION |
|---|-------------------|----------------------|----------------------|----------------------|--------------------------------|------------------------|
| VALORACIÓN DEL MACIZO ROCOSO (R.M.R.) EG – 06 BY PASS 815 NE. | | | | | | |
| R. COMPRES. UNIAxIAL (Mpa) | >250 (15) | 100-250 (12) | 50-100 (7) | 25-50 (4) | VALOR ESTIMADO <25(2) <5(1) | 1 |
| RQD % | 90-100 (20) | 75-90 (17) | 50-75 (13) | 25-50 (8) | <25 (3) | 2 |
| ESPACIAMIENTO (m) | >2 (20) | 0,6-2 (15) | 0,2-0,6 (10) | 0,06-0,2 (8) | <0,06 (5) | 3 |
| PERSISTENCIA | <1m long. (6) | 1-3 m Long. (4) | 3-10m (2) | 10-20 m (1) | > 20 m (0) | 4A |
| APERTURA | Cerrada (6) | <0,1mm apert. (5) | 0,1-1,0mm (4) | 1 - 5 mm (1) | > 5 mm (0) | 4B |
| RUGOSIDAD | Muy rugosa (6) | Rugosa (5) | Lig.rugosa (3) | Duro > 5mm (2) | Espejo de falla (0) | 4C |
| RELLENO | Limpia (6) | Duro < 5mm (4) | Mod.Intempe. (3) | Suave < 5 mm (1) | Suave > 5 mm (0) | 4D |
| INTEMPERIZA. | Sana (6) | Lig. Intempe. (5) | Humedo (10) | Muy Intempe. (2) | Descompuesta (0) | 4E |
| AGUA SUBTERRANEA | Seco (15) | | | Goteo (4) | Flujo (0) | 5 |
| VALOR TOTAL RMR (Suma de valoración 1 a 5) = | | | | | | 51,75 |
| AJUSTE EN LA EVALUACION POR ORIENTACION DE FISURA RUMBO PARALELO AL EJE DE LA EXCAVACION | | | | | | |
| RUMBO PERPENDICULAR AL EJE DE LA EXCAVACION | | | | | | |
| EXCAVACION EN EL SENTIDO DEL BUZAMIENTO | | | | | | |
| BUZAMIENTO 90° | 45° - 20° - 45° | BUZAMIENTO 45° - 90° | BUZAMIENTO 20° - 45° | BUZAMIENTO 45° - 90° | BUZAMIENTO 20° - 45° | BUZAMIENTO 0° - 20° |
| MUY FAVORABLE | FAVORABLE | REGULAR | DESFAVORABLE | DESFAVORABLE MUY | REGULAR | REGULAR MALA |
| 0 | -2 | -5 | -10 | -12 | -5 | -5 |
| VALOR AJUSTADO DEL RMR | | | | | | 39,75 |
| RUMBO PARALELO AL EJE DE LA EXCAVACION | | | | | | |
| EXCAVACION CONTRA EL BUZAMIENTO | | | | | | |
| RMR | 100 - 81 | 80 - 61 | 60 - 41 | 40 - 21 | 20 - 0 | CLASE DE MACIZO ROCOSO |
| DESCRIPCION | I MUY BUENA | II BUENA | III REGULAR | IV MALA | V MUY MALA | IV |

Tabla 55

Valoración del macizo rocoso (R.M.R.) EG – 07 By Pass 815 NE

| PARAMETRO | RANGO DE VALORES | | | | | VALORACION |
|---|-------------------|----------------------|----------------------|----------------------|--------------------------------|--------------------------------------|
| VALORACIÓN DEL MACIZO ROCOSO (R.M.R.) EG – 07 BY PASS 815 NE | | | | | | |
| R. COMPRES. UNIAXIAL (Mpa) | >250 (15) | 100-250 (12) | 50-100 (7) | 25-50 (4) | VALOR ESTIMADO <25(2) <5(1) | 1 |
| RQD % | 90-100 (20) | 75-90 (17) | 50-75 (13) | 25-50 (8) | <25 (3) | 2 |
| ESPACIAMIENTO (m) | >2 (20) | 0,6-2 (15) | 0,2-0,6 (10) | 0,06-0,2 (8) | < 0,06 (5) | 3 |
| PERSISTENCIA | <1m long. (6) | 1-3 m Long. (4) | 3-10m (2) | 10-20 m (1) | > 20 m (0) | 4A |
| CONDICION DE APERTURA | Cerrada (6) | <0.1mm apert. (5) | 0.1-1.0mm (4) | 1 - 5 mm (1) | > 5 mm (0) | 4B |
| RUGOSIDAD | Muy rugosa (6) | Rugosa (5) | Lig.rugosa (3) | Lisa (1) | Espejo de falla (0) | 4C |
| RELLENO | Limpia (6) | Duro < 5mm (4) | Duro> 5mm (2) | Suave < 5 mm (1) | Suave > 5 mm (0) | 4D |
| INTEMPERIZA. | Sana (6) | Lig. Intempe. (5) | Mod.Intempe. (3) | Muy Intempe. (2) | Descompuesta (0) | 4E |
| AGUA SUBTERRANEA | Seco (15) | Humedo (10) | Mojado (7) | Goteo (4) | Flujo (0) | 5 |
| VALOR TOTAL RMR (Suma de valoración 1 a 5) = | | | | | | 53.75 |
| AJUSTE EN LA EVALUACION POR ORIENTACION DE FISURA RUMBO PARALELO AL EJE DE LA EXCAVACION | | | | | | |
| RUMBO PERPENDICULAR AL EJE DE LA EXCAVACION EXCAVACION EN EL SENTIDO DEL BUZAMIENTO | | | | | | |
| BUZAMIENTO 90° | 45° - 20° - 45° | BUZAMIENTO 45° - 90° | BUZAMIENTO 20° - 45° | BUZAMIENTO 45° - 90° | BUZAMIENTO 20° - 45° | BUZAMIENTO 0° - 20° |
| MUY FAVORABLE | FAVORABLE | REGULAR | DEFAVORABLE | DEFAVORABLE | DEFAVORABLE | MALA |
| 0 | -2 | -5 | -10 | -12 | -5 | -12 |
| VALOR AJUSTADO DEL RMR | | | | | | 41.75 |
| RMR | 100 - 81 | 80 - 61 | 60 - 41 | 40 - 21 | 20 - 0 | CLASE DE MACIZO ROCOSO III |
| DESCRIPCION | I MUY BUENA | II BUENA | III REGULAR | IV MALA | V MUY MALA | |

Tabla 56

Valoración del macizo rocoso (R.M.R.) EG – 08 By Pass 815 NE

| PARAMETRO | RANGO DE VALORES | | | | | VALORACION |
|---|-------------------|----------------------|----------------------|----------------------|------------------------|------------------------|
| | VALOR ESTIMADO | VALOR ESTIMADO | VALOR ESTIMADO | VALOR ESTIMADO | VALOR ESTIMADO | |
| R. COMPRES. UNIAXIAL (Mpa) | >250 (15) | 100-250 (12) | 50-100 (7) | 25-50 (4) | <25(2) <5(1) | 1 |
| RQD % | 90-100 (20) | 75-90 (17) | 50-75 (13) | 25-50 (8) | <25 (3) | 2 |
| ESPACIAMIENTO (m) | >2 (20) | 0.6-2 (15) | 0.2-0.6 (10) | 0.06-0.2 (8) | <0.06 (5) | 3 |
| | <1m long. (6) | 1-3 m Long. (4) | 3-10m (2) | 10-20 m (1) | > 20 m (0) | 4A |
| CONDICION DE APERTURA | Cerrada (6) | <0.1mm apert. (5) | 0.1-1.0mm (4) | 1 - 5 mm (1) | > 5 mm (0) | 4B |
| DE RUGOSIDAD | Muy rugosa (6) | Rugosa (5) | Lig.rugosa (3) | Lisa (1) | Espejo de falla (0) | 4C |
| JUNTAS RELLENO | Limpia (6) | Duro < 5mm (4) | Duro> 5mm (2) | Suave < 5 mm (1) | Suave > 5 mm (0) | 4D |
| INTEMPERIZA. | Sana (6) | Lig. Intempe. (5) | Mod.Intempe. (3) | Muy Intempe. (2) | Descompuesta (0) | 4E |
| AGUA SUBTERRANEA | Seco (15) | Humedo (10) | Mojado (7) | Goteo (4) | Flujo (0) | 5 |
| VALOR TOTAL RMR (Suma de valoración 1 a 5) = | | | | | | 53.75 |
| AJUSTE EN LA EVALUACION POR ORIENTACION DE FISURA | | | | | | |
| RUMBO PARALELO AL EJE DE LA EXCAVACION | | | | | | |
| RUMBO PERPENDICULAR AL EJE DE LA EXCAVACION | | | | | | |
| EXCAVACION EN EL SENTIDO DEL BUZAMIENTO | | | | | | |
| EXCAVACION CONTRA EL BUZAMIENTO | | | | | | |
| BUZAMIENTO 90° | 45° - 20° - 45° | BUZAMIENTO 45° - 90° | BUZAMIENTO 20° - 45° | BUZAMIENTO 45° - 90° | BUZAMIENTO 20° - 45° | BUZAMIENTO 0° - 20° |
| MUY FAVORABLE | FAVORABLE | REGULAR | DESFAVORABLE | MUY DESFAVORABLE | REGULAR | MALA |
| 0 | -2 | -5 | -10 | -12 | -5 | -12 |
| VALOR AJUSTADO DEL RMR | | | | | | 41.75 |
| RMR | 100 - 81 | 80 - 61 | 60 - 41 | 40 - 21 | 20 - 0 | CLASE DE MACIZO ROCOSO |
| DESCRIPCION | I MUY BUENA | II BUENA | III REGULAR | IV MALA | V MUY MALA | III |

Tabla 57

Valoración del macizo rocoso (R.M.R.) EG – 09 By Pass 815 NE

| PARAMETRO | RANGO DE VALORES | | | | | VALORACION |
|---|-------------------|----------------------|----------------------|----------------------|--------------------------------|--------------|
| R. COMPRESION UNIAxIAL (Mpa) | >250 (15) | 100-250 (12) | 50-100 (7) | 25-50 (4) | VALOR ESTIMADO <25(2) <5(1) | 1 |
| RQD % | 90-100 (20) | 75-90 (17) | 50-75 (13) | 25-50 (8) | <25 (3) | 2 |
| ESPACIAMIENTO (m) | >2 (20) | 0,6-2 (15) | 0,2-0,6 (10) | 0,06-0,2 (8) | <0,06 (5) | 3 |
| PERSISTENCIA | <1m long. (6) | 1-3 m Long. (4) | 3-10m (2) | 10-20 m (1) | > 20 m (0) | 4A |
| APERTURA | Cerrada (6) | <0,1mm apert. (5) | 0,1-1,0mm (4) | 1 - 5 mm (1) | > 5 mm (0) | 4B |
| RUGOSIDAD | Muy rugosa (6) | Rugosa (5) | Lig.rugosa (3) | Lisa (1) | Espejo de falla (0) | 4C |
| RELLENO | Limpia (6) | Duro < 5mm (4) | Duro> 5mm (2) | Suave < 5 mm (1) | Suave > 5 mm (0) | 4D |
| INTEMPERIZA. | Sana (6) | Lig. Intempe. (5) | Mod.Intempe. (3) | Muy Intempe. (2) | Descompuesta (0) | 4E |
| AGUA SUBTERRANEA | Seco (15) | Humedo (10) | Mojado (7) | Goteo (4) | Flujo (0) | 5 |
| VALOR TOTAL RMR (Suma de valoración 1 a 5) = | | | | | | 55,75 |
| AJUSTE EN LA EVALUACION POR ORIENTACION DE FISURA | | | | | | |
| RUMBO PERPENDICULAR AL EJE DE LA EXCAVACION | | | | | | |
| EXCAVACION EN EL SENTIDO DEL RUMBO PARALELO AL EJE DE LA EXCAVACION | | | | | | |
| BUZAMIENTO 90° | 45° - 20° - 45° | BUZAMIENTO 20° - 45° | BUZAMIENTO 45° - 90° | BUZAMIENTO 20° - 45° | BUZAMIENTO 0° - 20° | BUZAMIENTO |
| MUY FAVORABLE | FAVORABLE | REGULAR | DESFAVORABLE | MUY DESFAVORABLE | REGULAR | MALA |
| 0 | -2 | -5 | -10 | -12 | -5 | -12 |
| VALOR TOTAL RMR (Suma de valoración 1 a 5) = | | | | | | 43,75 |
| CLASE DE MACIZO ROCOSO | | | | | | |
| RMR | 100 - 81 | 80 - 61 | 60 - 41 | 40 - 21 | 20 - 0 | III |
| DESCRIPCION | I MUY BUENA | II BUENA | III REGULAR | IV MALA | V MUY MALA | |

Tabla 58

Valoración del macizo rocoso (R.M.R.) EG – 10 By Pass 815 NE

| PARAMETRO | RANGO DE VALORES | | | | | VALOR ESTIMADO | VALORACION |
|---|-------------------|----------------------|----------------------|----------------------|-------------------------|------------------------|--------------|
| R. COMPRES. UNIAXIAL (Mpa) | >250 (15) | 100-250 (12) | 50-100 (7) | 25-50 (4) | <25(2) <5(1) | 1 | 7 |
| RQD % | 90-100 (20) | 75-90 (17) | 50-75 (13) | 25-50 (8) | <25 (3) | 2 | 14.75 |
| ESPACIAMIENTO (m) | >2 (20) | 0,6-2 (15) | 0,2-0,6 (10) | 0,06-0,2 (8) | < 0,06 (5) | 3 | 15 |
| PERSISTENCIA | <1m long. (6) | 1-3 m Long. (4) | 3-10m (2) | 10-20 m (1) | > 20 m (0) | 4A | 2 |
| APERTURA | Cerrada (6) | <0,1mm apert. (5) | 0,1-1,0mm (4) | 1 - 5 mm (1) | > 5 mm (0) | 4B | 1 |
| RUGOSIDAD | Muy rugosa (6) | Rugosa (5) | Lig.rugosa (3) | Lisa (1) | Espesjo de falla (0) | 4C | 3 |
| RELLENO | Limpia (6) | Duro < 5mm (4) | Duro > 5mm (2) | Suave < 5 mm (1) | Suave > 5 mm (0) | 4D | 1 |
| INTEMPERIZA. | Sana (6) | Lig. Intempe. (5) | Mod.Intempe. (3) | Muy Intempe. (2) | Descompuesta (0) | 4E | 3 |
| AGUA SUBTERRANEA | Seco (15) | Humedo (10) | Mojado (7) | Goteo (4) | Flujo (0) | 5 | 10 |
| VALOR TOTAL RMR (Suma de valoración 1 a 5) = | | | | | | | 56.75 |
| AJUSTE EN LA EVALUACION POR ORIENTACION DE FISURA | | | | | | | |
| RUMBO PERPENDICULAR AL EJE DE LA EXCAVACION | | | | | | | |
| EXCAVACION EN EL SENTIDO DEL BUZAMIENTO | | | | | | | |
| BUZAMIENTO 90° | 45° - 20° - 45° | BUZAMIENTO 45° - 90° | BUZAMIENTO 20° - 45° | BUZAMIENTO 45° - 90° | BUZAMIENTO 20° - 45° | BUZAMIENTO 0° - 20° | |
| MUY FAVORABLE | FAVORABLE | REGULAR | DEFAVORABLE | MUY DEFAVORABLE | REGULAR | MALA | |
| 0 | -2 | -5 | -10 | -12 | -5 | -5 | -12 |
| VALOR AJUSTADO DEL RMR | | | | | | | 44.75 |
| RMR | 100 - 81 | 80 - 61 | 60 - 41 | 40 - 21 | 20 - 0 | CLASE DE MACIZO ROCOSO | |
| DESCRIPCION | I MUY BUENA | II BUENA | III REGULAR | IV MALA | V MUY MALA | III | |

Tabla 59

Valoración del macizo rocoso (R.M.R.) EG – 11 By Pass 815 NE

| PARAMETRO | RANGO DE VALORES | | VALOR ESTIMADO | VALORACION |
|---|-------------------|----------------------|----------------------|---------------------|
| R. COMPRES. UNIAXIAL (Mpa) | >250 (15) | 100-250 (12) | 25-50 (4) | 1 |
| RQD % | 90-100 (20) | 75-90 (17) | 25-50 (8) | 2 |
| ESPACIAMIENTO (m) | >2 (20) | 0,6-2 (15) | 0,06-0,2 (8) | 3 |
| PERSISTENCIA | <1m long. (6) | 1-3 m Long. (4) | 10-20 m (1) | 4A |
| APERTURA | Cerrada (6) | <0.1mm apert. (5) | 1 - 5 mm (1) | 4B |
| RUGOSIDAD | Muy rugosa (6) | Rugosa (5) | Lisa (1) | 4C |
| RELLENO | Limpia (6) | Duro < 5mm (4) | Suave > 5 mm (0) | 4D |
| INTEMPERIZA. | Sana (6) | Lig. Intempe. (5) | Muy Intempe. (2) | 4E |
| AGUA SUBTERRANEA | Seco (15) | Humedo (10) | Goteo (4) | 5 |
| VALOR TOTAL RMR (Suma de valoración 1 a 5) = | | | | 56.75 |
| AJUSTE EN LA EVALUACION POR ORIENTACION DE FISURA RUMBO PARALELO AL EJE DE LA EXCAVACION | | | | |
| RUMBO PERPENDICULAR AL EJE DE LA EXCAVACION | | | | |
| EXCAVACION EN EL SENTIDO DEL BUZAMIENTO | | | | |
| BUZAMIENTO 90° | 45° - 20° - 45° | BUZAMIENTO 45° - 90° | BUZAMIENTO 20° - 45° | BUZAMIENTO 0° - 20° |
| MUY FAVORABLE | FAVORABLE | REGULAR | DESFAVORABLE | MALA |
| 0 | -2 | -5 | -10 | -5 |
| VALOR AJUSTADO DEL RMR | | | | 44.75 |
| RUMBO PARALELO AL EJE DE LA EXCAVACION | | | | |
| EXCAVACION CONTRA EL BUZAMIENTO | | | | |
| BUZAMIENTO 90° | 45° - 20° - 45° | BUZAMIENTO 45° - 90° | BUZAMIENTO 20° - 45° | BUZAMIENTO 0° - 20° |
| MUY FAVORABLE | FAVORABLE | REGULAR | DESFAVORABLE | MALA |
| 0 | -2 | -5 | -10 | -5 |
| VALOR AJUSTADO DEL RMR | | | | 44.75 |
| RMR | 100 - 81 | 80 - 61 | 60 - 41 | 40 - 21 |
| DESCRIPCION | I MUY BUENA | II BUENA | III REGULAR | IV MALA |
| CLASE DE MACIZO ROCOSO | | | | III |
| V MUY MALA | | | | |

Tabla 60

Valoración del macizo rocoso (R.M.R.) EG – 12 By Pass 815 NE

| PARAMETRO | RANGO DE VALORES | | | | | VALORACION |
|---|-------------------|----------------------|----------------------|----------------------|--------------------------------|------------------------|
| Valoración del macizo rocoso (R.M.R.) EG – 12 By Pass 815 NE. | | | | | | |
| R. COMPRES. UNIAxIAL (Mpa) | >250 (15) | 100-250 (12) | 50-100 (7) | 25-50 (4) | VALOR ESTIMADO <25(2) <5(1) | 1 |
| RQD % | 90-100 (20) | 75-90 (17) | 50-75 (13) | 25-50 (8) | <25 (3) | 2 |
| ESPACIAMIENTO (m) | >2 (20) | 0,6-2 (15) | 0,2-0,6 (10) | 0,06-0,2 (8) | < 0,06 (5) | 3 |
| | <1m long. (6) | 1-3 m Long. (4) | 3-10m (2) | 10-20 m (1) | > 20 m (0) | 4A |
| PERSISTENCIA | Cerrada (6) | <0,1mm apert. (5) | 0,1-1,0mm (4) | 1 - 5 mm (1) | > 5 mm (0) | 4B |
| APERTURA | Muy rugosa (6) | Rugosa (5) | Lig.rugosa (3) | Lisa (1) | Espeso de falla (0) | 4C |
| DE RUGOSIDAD | Limpia (6) | Duro < 5mm (4) | Duro > 5mm (2) | Suave < 5 mm (1) | Suave > 5 mm (0) | 4D |
| RELLENO | Sana (6) | Lig. Intempe. (5) | Mod.Intempe. (3) | Muy Intempe. (2) | Descompuesta (0) | 4E |
| INTEMPERIZA. | Seco (15) | Humedo (10) | Mojado (7) | Goteo (4) | Flujo (0) | 5 |
| AGUA SUBTERRANEA | | | | | | |
| | | | | | | 10 |
| | | | | | | 53,75 |
| VALOR TOTAL RMR (Suma de valoración 1 a 5) = | | | | | | |
| AJUSTE EN LA EVALUACION POR ORIENTACION DE FISURA RUMBO PARALELO AL EJE DE LA EXCAVACION | | | | | | |
| RUMBO PERPENDICULAR AL EJE DE LA EXCAVACION | | | | | | |
| EXCAVACION EN EL SENTIDO DEL BUZAMIENTO | | | | | | |
| BUZAMIENTO 90° | 45° - 20° - 45° | BUZAMIENTO 45° - 90° | BUZAMIENTO 20° - 45° | BUZAMIENTO 45° - 90° | BUZAMIENTO 20° - 45° | BUZAMIENTO 0° - 20° |
| MUY FAVORABLE | FAVORABLE | REGULAR | DESFAVORABLE | DESFAVORABLE | REGULAR | MALA |
| 0 | -2 | -5 | -10 | -12 | -5 | -5 |
| | | | | | | -12 |
| | | | | | | 41,75 |
| VALOR AJUSTADO DEL RMR | | | | | | |
| RMR | 100 - 81 | 80 - 61 | 60 - 41 | 40 - 21 | 20 - 0 | III |
| DESCRIPCION | I MUY BUENA | II BUENA | III REGULAR | IV MALA | V MUY MALA | CLASE DE MACIZO ROCOSO |

4.1.12. Interpretación de resultados de calidad de macizo rocoso

La clasificación Geomecánica, mediante el método de Bieniawski⁸⁹, indica que en el área de estudio la calidad de la masa rocosa está asociada al aspecto litológico y estructural, Espinoza J.C. (2011:165-167):

- La familia 1 son de calidad regular con un RMR corregido de 43.75 [41,60],
- La familia 2 son de calidad mala con un RMR corregido de 39.75 [21,40],
- La familia 3 son de calidad regular con un RMR corregido de 44.75 [41,60],
- La familia 4 son de calidad regular con un RMR corregido de 43.75 [41,60],

Tabla 61

Categoría del macizo rocoso en By pass 815 NE

| Calidad del macizo rocoso en By Pass 815 NE de Unidad Minera Las Águilas CIEMSA | |
|--|-----------------------|
| Categoría | IV - III |
| Rock Mass Rating RMR | 40 – 45 |
| Tiempo de auto soporte | 10 horas |
| Longitud(spam) | 2,5m de vano |
| Cohesión | 1-2 k/cm ² |
| Angulo de fricción interna | 25° - 35° |

Tabla 62*Calidad del macizo rocoso en 12 estaciones geomecánicas*

| Calidad de macizo rocoso en 12 estaciones geomecánicas (RMR 1989) corregido | | | | | |
|--|-----------------|-----------------------------|-----------------|------------------|----------------|
| ID | Tabla N° | Estación Geomecánica | RMR 1989 | Categoría | Calidad |
| 1 | 50 | EG.01 | 43.75 | III | Roca regular |
| 2 | 51 | EG-02 | 42.75 | III | Roca regular |
| 3 | 52 | EG-03 | 39.75 | IV | Roca mala |
| 4 | 53 | EG-04 | 42.75 | III | Roca regular |
| 5 | 54 | EG-05 | 39.75 | IV | Roca mala |
| 6 | 55 | EG-06 | 39.75 | IV | Roca mala |
| 7 | 56 | EG-07 | 41.75 | III | Roca regular |
| 8 | 57 | EG-08 | 41.75 | III | Roca regular |
| 9 | 58 | EG-09 | 43.75 | III | Roca regular |
| 10 | 59 | EG-10 | 44.75 | III | Roca regular |
| 11 | 60 | EG-11 | 44.75 | III | Roca regular |
| 12 | 61 | EG-12 | 41.75 | III | Roca regular |
| | | Mínimo | 40 | IV | Roca Mala |
| | | Máximo | 45 | III | Roca Regular |

4.1.13. Demostración de hipótesis 1

“Mediante las clasificaciones geomecánicas se logra determinar la calidad del macizo rocoso”; mediante la evaluación de los seis parámetros geomecánicos es de RMR 40 - 45, de acuerdo a la escala propuesta por Bieniawski es una roca de calidad mala a regular, el dominio estructural del macizo rocoso está constituido por cuatro familias de discontinuidades cada uno descrito estructuralmente el tipo de roca es una andesita porfirítica alterada conforme los resultados obtenidos en las 12 estaciones geomecánicas



mostrados en la Tabla 62 el mínimo valor es 40 y el máximo valor es 45 de RMR, 09 estaciones geomecánicas se ubican en el intervalo [41,60] y 03 estaciones geomecánicas se ubican en el intervalo [21,40], asimismo se obtuvieron 04 familias de discontinuidades 03 familias se ubican en el intervalo de [41,60] y 01 familia se encuentra en el intervalo [21,40] propuesta en la escala de Bieniawski.

4.2. DISCUSIONES A LA CALIDAD DEL MACIZO ROCOSO

La calidad del macizo rocoso se ha determinado con el uso de RMR 1989 de Bieniawski considerado en el objetivo 1, los procedimientos y resultados logrados en el presente trabajo de investigación dieron muy buenos resultados para la calidad del macizo roca con RMR 40 – 45, esta determinación de parámetros se ha realizado en un tramo que previamente ha sido bien lavado, evitando tomar en cuenta posibles fracturas ocasionados por disparos, los métodos empleados cuantifica y cualifica el macizo rocoso con más exactitud. Esto nos permite conocer el tipo de roca en donde se está realizando la excavación, SNMPE (2004). Para el diseño de la excavación se tiene en cuenta el tipo de roca y sus parámetros mecánicos del macizo rocoso, además del tiempo de exposición que se encuentra abierta la excavación, Cecenarro J. (2019) afirma; mediante la clasificación Geomecánica se determinó la calidad del macizo rocoso donde se encuentra instalado el perno Split set, donde el tipo de roca predominante según el índice GSI es, (MF/R) a (F/R) y en el Parámetro RMR, tiene un valor que oscila de 35 a 60, Lázaro J. (2018), afirma el uso de las clasificaciones geomecánicas para determinar la calidad del macizo rocoso para la aplicación de soporte adecuado, los resultados obtenidos por el investigador se encuentra en los intervalos sugeridos por Bienawski 1989 y de manera similar coincide con los procedimientos y resultados con el presente trabajo de investigación, en el trabajo de investigación realizado en By pass 815 NE de la unidad minera Las Águilas – CIEMSA, se han tenido en cuenta las diferentes condiciones lito

estructurales del macizo rocoso, considerando los procedimientos sugeridos por la ISRM la calidad del macizo rocoso mediante la evaluación de los seis parámetros geomecánicos es de RMR 40 – 45 (IV - III), roca de calidad mala a regular, constituido por 03 familias de discontinuidades el tipo de roca regular, es una andesita porfírica alterada conforme los resultados obtenidos en las 12 estaciones geomecánicas mostrados en la Tabla 62 el mínimo valor de RMR es 40 y el máximo valor de RMR es 45, de los cuales 09 estaciones se ubican en el intervalo de calidad de roca propuesta en la escala de Bieniawski en [41,60], en 3 estaciones tienen RMR [21,40].

4.3.DETERMINACIÓN DE CAPACIDAD DE ANCLAJE SIN CARTUCHOS DE CEMENTO DE SPLIT SET CONVENCIONAL

Teniendo en consideración el objetivo 2 se realizaron pruebas de tracción a los elementos de sostenimiento Split Set de Ø39.5mm x 5 pies de largo con cartuchos de cemento, todos los trabajos de campo se realizan en interior mina y son desarrollados en la progresiva 520 - 529, dichos trabajos se realizaron por encargo y en conjunto con el personal de la Unidad Minera Las Águilas, ver Tabla 63 el objetivo principal es demostrar la capacidad de anclaje de los Split set, el equipo técnico que ha participado se describe a continuación:

Tabla 63

Equipo técnico en las pruebas de pull test a los Split set

| Nombre | Cargo | Empresa |
|---------------------|-----------------------------|----------------|
| Ernesto López | Jefe de Geomecánica | CIEMSA |
| Erick Condori Cahui | Asistente de Geomecánica | CIEMSA |
| Luis Gutiérrez Taco | Maestro perforista | Cta. Comiserge |
| Mario Ccari Mamani | Ayudante perforista | Cta. Comiserge |
| Nilton Aymara | Asistente técnico comercial | FORMIN |
| Roy Taipe | Asistente técnico comercial | FORMIN |

Tabla 64

*Pull test en Split set convencional de 5 pies de 39.5 mm de diámetro, diámetro de broca
Ø 35mm – 36mm.*

| N° | Carga Aplicada (t) | Largo (m) | Ø Perno (mm) | Ø Broca (mm) | Nivel de prueba | Calidad de roca (RMR) | t/pie | Condición post tracción |
|----------------|--------------------|-----------|--------------|--------------|--------------------|-----------------------|-------|---|
| Split Set N°01 | 5.7 | 1.50 | 39.5 | 35 35.78 | By Pass 815 NE, | 40 - 45 | 1.1 | El perno se desplazó, no se produjo fisura del anillo |
| Split Set N°03 | 5.8 | 1.50 | 39.5 | 35 35.78 | By Pass 815 NE, | 40 - 45 | 1.2 | El perno se desplazó, no se produjo fisura del anillo |
| Split Set N°06 | 5.5 | 1.50 | 39.5 | 35 35.78 | By Pass 815 NE, | 40 - 45 | 1.1 | El perno se desplazó, no se produjo fisura del anillo |
| Split Set N°08 | 5.6 | 1.50 | 39.5 | 35 35.78 | By Pass 815 NE, | 40 - 45 | 1.1 | El perno se desplazó, no se produjo fisura del anillo |
| Split Set N°09 | 5.9 | 1.50 | 39.5 | 35 35.78 | By Pass 815 NE, | 40 - 45 | 1.2 | El perno se desplazó, no se produjo fisura del anillo |
| Split Set N°11 | 5.7 | 1.50 | 39.5 | 35 35.78 | By Pass 815 NE, | 40 - 45 | 1.1 | El perno se desplazó, no se produjo fisura del anillo |
| Split Set N°13 | 5.7 | 1.50 | 39.5 | 35 35.78 | By Pass 815 NE, | 40 - 45 | 1.1 | El perno se desplazó, no se produjo fisura del anillo |
| Split Set N°16 | 5.7 | 1.50 | 39.5 | 35 35.78 | By Pass 815 NE, | 40 - 45 | 1.1 | El perno se desplazó, no se produjo fisura del anillo |
| Split Set N°20 | 5.8 | 1.50 | 39.5 | 35 35.78 | By Pass 815 NE, | 40 - 45 | 1.2 | El perno se desplazó, no se produjo fisura del anillo |

Se observa que los Split set convencionales de 5 pies, cumplen con las especificaciones técnicas mínima requeridas 1tn/pie

Tabla 65

Pull test en Split set de 5 pies convencional con cartucho de cemento

| N° | Carga Aplicada (t) | Largo (m) | Ø Perno (mm) | Ø Broca (mm) | Nivel de prueba | Calidad de roca (RMR) | t/pie | Condición post tracción |
|----------------|--------------------|-----------|--------------|--------------|-------------------|-----------------------|-------|--|
| Split Set N°02 | 7.0 | 1.50 | 39.5 | 35 35.78 | By Pass 815 NE | 40 - 45 | 1.4 | El perno no se desplazó, se produjo fisura del anillo |
| Split Set N°04 | 7.0 | 1.50 | 39.5 | 35 35.78 | By Pass 815 NE | 40 - 45 | 1.4 | El perno no se desplazó, se produjo fisura del anillo |
| Split Set N°05 | 7.5 | 1.50 | 39.5 | 35 35.78 | By Pass 815 NE | 40 - 45 | 1.5 | El perno se desplazó, no se produjo fisura del anillo |
| Split Set N°07 | 6.5 | 1.50 | 39.5 | 35 35.78 | By Pass 815 NE | 40 - 45 | 1.3 | El perno se desplazó, no se produjo fisura del anillo |
| Split Set N°10 | 7.5 | 1.50 | 39.5 | 35 35.78 | By Pass 815 NE | 40 - 45 | 1.5 | El perno se desplazó, no se produjo fisura del anillo |
| Split Set N°12 | 7.0 | 1.50 | 39.5 | 35 35.78 | By Pass 815 NE | 40 - 45 | 1.4 | El perno no se desplazó, se produjo fisura del anillo |
| Split Set N°14 | 6.0 | 1.50 | 39.5 | 35 35.78 | By Pass 815 NE | 40 - 45 | 1.2 | El perno no se desplazó, se produjo fisura del anillo |
| Split Set N°15 | 7.0 | 1.50 | 39.5 | 35 35.78 | By Pass 815 NE | 40 - 45 | 1.4 | El perno no se desplazó, se produjo fisura del anillo |
| Split Set N°17 | 7.0 | 1.50 | 39.5 | 35 35.78 | By Pass 815 NE | 40 - 45 | 1.4 | El perno se desplazó, se produjo fisura del anillo |
| Split Set N°18 | 8.0 | 1.50 | 39.5 | 35 35.78 | By Pass 815 NE | 40 - 45 | 1.6 | El perno se desplazó, se produjo fisura del anillo |
| Split Set N°19 | 6.5 | 1.50 | 39.5 | 35 35.78 | By Pass 815 NE | 40 - 45 | 1.3 | El perno se desplazó, no se produjo fisura del anillo, |

Para estas pruebas, se instalaron 05 cartuchos de cemento a cada Split set, el arranque se realizó a las 24 horas de fraguado

Tabla 66

Desplazamientos y carga en pernos Split set de 5 pies sin cartucho de cemento

| Lectura del Manómetro [t/f] | DESPLAZAMIENTO (mm) | | | | | | | | | |
|--------------------------------|---------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--|
| | SPLIT SET 1 | SPLIT SET 3 | SPLIT SET 6 | SPLIT SET 8 | SPLIT SET 9 | SPLIT SET 11 | SPLIT SET 13 | SPLIT SET 16 | SPLIT SET 20 | |
| 0 | 9.25 | 9.30 | 9.38 | 9.15 | 8.98 | 8.98 | 9.20 | 9.38 | 8.92 | |
| 2,0 | 11.56 | 12.12 | 11.18 | 13.77 | 12.17 | 17.15 | 15.17 | 16.87 | 13.68 | |
| 4,0 | 16.86 | 15.47 | 20.20 | 21.85 | 18.96 | 29.91 | 28.31 | 23.51 | 20.36 | |
| 4,5 | 21.90 | 17.40 | 27.00 | 25.75 | 22.69 | 34.59 | 38.36 | 27.82 | 23.61 | |
| 5,0 | | | 31.40 | 28.90 | | | | | | |
| 5.5 | 26.89 | 19.59 | | | 24.99 | 35.98 | 38.36 | 45.86 | 25.28 | |
| 6.0 | 40.32 | | | | 28.38 | | | | 29.20 | |
| 6.5 | | 21.48 | | | | | | | | |

- El diámetro de taladro fue de 35 - 36mm

Tabla 67

Desplazamientos y carga en pernos Split set de 5 pies con cartucho de cemento

| Lectura del Manómetro [t/f] | DESPLAZAMIENTO (mm) | | | | | | | | | | |
|--------------------------------|---------------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| | Split set 2 | Split set 4 | Split set 5 | Split set 7 | Split set 10 | Split set 12 | Split set 14 | Split set 15 | Split set 17 | Split set 18 | Split set 19 |
| 0 | 9.35 | 9.30 | 9.05 | 9.28 | 9.37 | 9.43 | 9.09 | 9.40 | 9.40 | 9.20 | 9.28 |
| 2,0 | 15.90 | 20.98 | 14.95 | 11.82 | 18.33 | 14.40 | 11.27 | 12.29 | 12.97 | 11.72 | 16.09 |
| 4,0 | 21.86 | 32.60 | 25.79 | 16.05 | 29.47 | 24.06 | 15.50 | 18.28 | 20.42 | 13.59 | 23.83 |
| 5,0 | 28.18 | 40.58 | | | | | | | | | |
| 5.5 | 33.06 | 43.10 | 31.50 | 21.96 | 36.79 | 29.11 | 22.50 | 23.20 | 24.67 | 15.97 | 28.84 |
| 6.0 | | | | 34.84 | | 32.40 | | 28.30 | 27.13 | 17.22 | 32.00 |
| 6.5 | 33.87 | 48.41 | 43.73 | | 45.30 | 34.32 | | | | | |
| 7.0 | | | 44.79 | | 51.38 | | | | | 19.21 | |
| 7.5 | | | | | 55.55 | 37.79 | | | | 20.45 | |
| 8.0 | | | | | | | | | | 24.49 | |

- El diámetro de taladro fue de 35 - 36mm

Tabla 68

Carga aplicada (t) y capacidad de anclaje (t/pie) en RMR 40 - 45.

| N° | Split set N° | Carga aplicada (t) | RMR | t/pie |
|----------|----------------|--------------------|---------|-------|
| 1 | Split Set N°01 | 5.7 | 40 – 45 | 1.1 |
| 2 | Split Set N°03 | 5.8 | 40 – 45 | 1.2 |
| 3 | Split Set N°06 | 5.5 | 40 – 45 | 1.1 |
| 4 | Split Set N°08 | 5.6 | 40 – 45 | 1.1 |
| 5 | Split Set N°09 | 5.9 | 40 – 45 | 1.2 |
| 6 | Split Set N°11 | 5.7 | 40 – 45 | 1.1 |
| 7 | Split Set N°13 | 5.7 | 40 – 45 | 1.1 |
| 8 | Split Set N°16 | 5.7 | 40 – 45 | 1.1 |
| 9 | Split Set N°20 | 5.8 | 40 – 45 | 1.2 |
| Promedio | | 5,7 | 40 - 45 | 1.1 |

Figura 29

Histograma de carga aplicada (t) y capacidad de anclaje (t/pie) sin cartucho de cemento en RMR 40 - 45

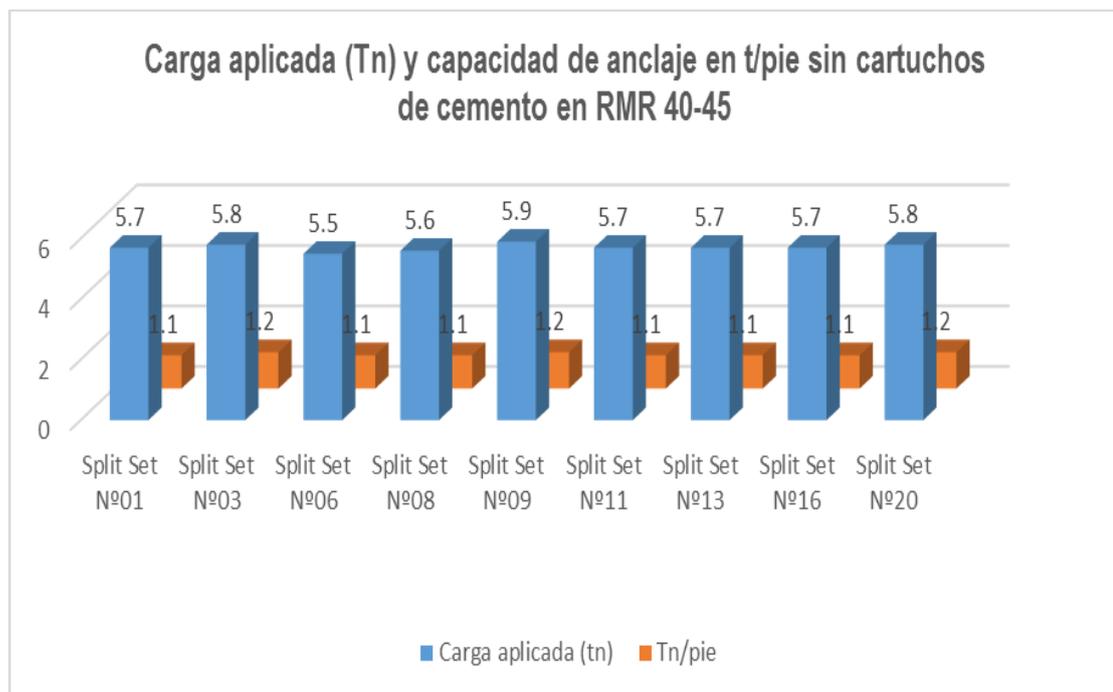


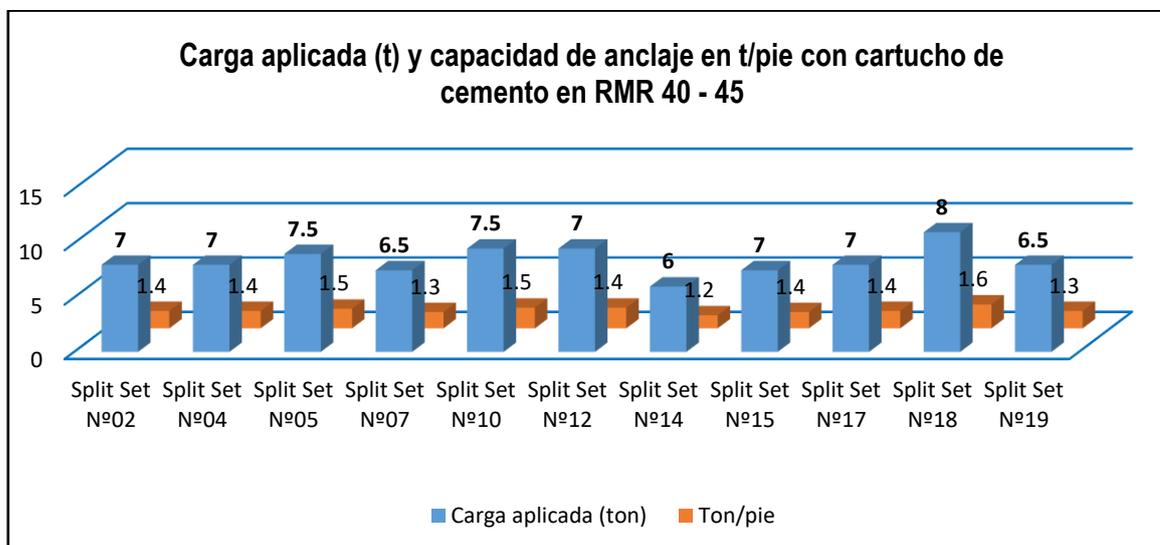
Tabla 69

Carga aplicada (t) y capacidad de anclaje (t/pie) con cartucho de cemento.

| N° | Split set N° | Carga aplicada (t) | RMR | t/pie |
|----------|----------------|--------------------|---------|-------|
| 1 | Split Set N°02 | 7.0 | 40 – 45 | 1.4 |
| 2 | Split Set N°04 | 7.0 | 40 – 45 | 1.4 |
| 3 | Split Set N°05 | 7.5 | 40 – 45 | 1.5 |
| 4 | Split Set N°07 | 6.5 | 40 – 45 | 1.3 |
| 5 | Split Set N°10 | 7.5 | 40 – 45 | 1.5 |
| 6 | Split Set N°12 | 7.0 | 40 – 45 | 1.4 |
| 7 | Split Set N°14 | 6.0 | 40 – 45 | 1.2 |
| 8 | Split Set N°15 | 7.0 | 40 – 45 | 1.4 |
| 9 | Split Set N°17 | 7.0 | 40 – 45 | 1.4 |
| 10 | Split Set N°18 | 8.0 | 40 – 45 | 1.6 |
| 11 | Split Set N°19 | 6.5 | 40 – 45 | 1.3 |
| Promedio | | 7.0 | 40 - 45 | 1.4 |

Figura 30

Histograma de carga aplicada (t) y capacidad de anclaje (t/pie) con cartucho de cemento en RMR 40 - 45



4.3.1. Resultados obtenidos de capacidad de anclaje de Split set de 5 pies

Según Escalante H. (2017), El sostenimiento mecanizado de pernos Split set y malla electrosoldada es recomendable en las labores subterráneas de explotación, considerando esta propuesta, se ha realizado la evaluación de la carga promedio que soportaron los pernos Split set convencional y Split set corrugado en By pass 815 de la Unidad Minera las Águilas – CIEMSA:

- La carga promedio que soportaron los pernos Split Set convencionales de 5 pies de longitud fueron 5.7 t, (1.1t/pie). Tal como se indica en Tabla 68 y Figura 28. encontrándose dentro de la capacidad mínima requerida (1.0t/pie)
- La carga promedio que soportaron los pernos Split set de 5 pies de longitud con cartuchos de cemento fueron 7.0 t, (1.4t/pie). Para cada perno se instaló 5 cartuchos de cemento y se realizó la prueba a las 24 horas. Tal como se indica en Tabla 69 y Figura 29.
- Para las pruebas de arranque a los Split set con cartuchos de cemento de esta nueva implementación se debe reforzar la soldadura del anillo debido a que este conjunto nuevo genera más capacidad de anclaje, en vista que los pernos han fallado en el componente anillo
- El diámetro de broca usado fue de 35mm en roca tipo mala a regular con RMR de 40 - 45, diámetros superiores a 35mm disminuirá la capacidad de tracción en los Split set al ser pernos por fricción y requeriría mayor número en cartuchos de cemento para completar la adherencia en toda su longitud
- Los resultados finales fueron satisfactorios en todos los aspectos tanto técnicos de prueba como de las características físicas de los elementos de sostenimiento conforme a las normas internacionales y Osinerming en el país.

Figura 31

Resultado de colocación de Split set de 5 pies



Figura 32

Equipo para la instalación de Split set de 5 pies



Figura 33

Manómetro para la lectura de carga aplicada a Split set. (8t)



Figura 34

Proceso de instalación del equipo Pull test para las pruebas y medición de las brocas de perforación. (35mm)





4.4. PRUEBA DE PULL TEST EN SPLIT SET CORRUGADOS DE 5 PIES

Se ha tenido un especial cuidado respecto a las pruebas con Split set corrugado para este caso específico la empresa Industria de Fortificación Minera - FORMIN en coordinación con el área de geomecánica y logística de Consorcio Ingenieros Ejecutores Mineros – CIEMSA ha realizado las pruebas en U.M. Las Águilas, específicamente se ha seguido las recomendaciones de Osinerming respecto a la fortificación del macizo rocoso en las excavaciones subterráneas se realizaron pruebas de arranque a los elementos de sostenimiento Split Set corrugados de Ø39.5mm x 5 pies de largo y además Split set corrugados con cemento, cuyos resultados y observaciones con un equipo técnico especializado en geomecánica minera subterránea el tratamiento estadístico correspondiente de los resultados se observan en Tabla 70, Tabla 71, Tabla 72, Tabla 73, Tabla 74, Tabla 75, Tabla 76, Figura 38, Figura 39, Figura 40, se requiere de una nueva aplicación del soporte en la Unidad Minera Las Águilas conociendo la mala calidad del macizo rocoso respecto a ello las exigencia de Osinerming son estrictos en el cumplimiento de las normas en el Perú.

Cabe precisar al respecto, el personal de FORMIN llega a la unidad el lunes 04 de enero de 2018 y permaneció hasta el lunes 11 de junio del 2018, en un periodo de seis meses se han realizado las pruebas en vista que se ha constituido una alternativa técnica y económica bajo la dirección de personal altamente capacitado por ende en este periodo se han realizado las pruebas cumpliendo con los procedimientos requeridos. Todos los trabajos de campo se realizan en interior mina y son desarrollados en diferentes progresivas, dichos trabajos se realizaron por encargo y en conjunto con el personal de la Unidad Minera.



Antes del inicio de las pruebas respectivas se ha realizado las capacitaciones en técnicas de determinación de la calidad del macizo rocoso específico, considerando las exigencias de las normas legales.

El objetivo principal es demostrar la capacidad de anclaje de los Split set corrugado tal como se ha mencionado se ha cumplido con todo el proceso de instalación y la pruebas en interior mina, se ha ejecutado con el equipo técnico que participó, ver Tabla 70, en coordinación con el personal del departamento de geomecánica de U.M. Las Águilas - CIEMSA; se realizó los trabajos de instalación y pruebas de campo (Pull test), en las labores los que se mencionan:

Tabla 70

Equipo técnico de las pruebas de Pull test a los Split set corrugados.

| Nombre | Cargo | Empresa |
|---------------------|-----------------------------|----------------|
| Ernesto López | Jefe de Geomecánica | CIEMSA |
| Erick Condori Cahui | Asistente de Geomecánica | CIEMSA |
| Luis Gutiérrez Taco | Maestro perforista | Cta. Comiserge |
| Mario Ccari Mamani | Ayudante perforista | Cta. Comiserge |
| Nilton Aymara | Asistente técnico comercial | FORMIN |
| Roy Taipe | Asistente técnico comercial | FORMIN |

Pruebas de Pull test de Split set Corrugados de 5 pies

- By Pass 815 NE, Nv. 4330 Zona Ursula. RMR 40 – 45. Se instaló 05 pernos Split set corrugados de 5 pies y 05 pernos Split set corrugados de 5 pies con cartuchos de cemento, cuyos resultados son bastantes alentadores en macizo rocoso con RMR de 40 - 45 en la escala de Bieniawski 1989 en la progresiva 520.00m a 529.00m, los resultados se detallan en la Tabla 71, Tabla 72, Tabla 73, Tabla 74, Tabla 75, Tabla 76, Figura 34, Figura 35, Figura 37.



Es necesario tomar en cuenta que estos elementos de sostenimiento tienen una resistencia en cuanto a la capacidad del acero a la tracción, y otra resistencia a la adherencia que se obtiene en la interface del mortero de cemento y/o resina con el macizo rocoso, siendo lo recomendable que el elemento de sostenimiento se ancle a la longitud necesaria para que la resistencia a la adherencia alcance la máxima resistencia del acero, las resistencias típicas a la adherencia según (Pakalnis, 2014), para Split set con diámetro de 39mm en terreno con <45 RMR está en el rango de 0.75 t/m -3.6t/m (Osinerming 2017), pp 95-96, los resultados logrados en RMR 40 - 45, son superiores al rango del estándar internacional, ver Tabla 76 y Figura 36.

Tabla 71

Pull test de Split set corrugados de 5 pies de 39.5 mm de diámetro

| N° | Carga Aplicada (t) | Largo (m) | Ø Perno (mm) | Ø Broca (mm) | Nivel de prueba | Calidad de roca (RMR) | t/pie | Condición post tracción |
|----------------|--------------------|-----------|--------------|--------------|---|-----------------------|-------|---|
| Split Set N°21 | 8.0 | 1.50 | 39.5 | 35.16 | By Pass 815 NE, Nv.4330 Zona Ursula | 40 – 45 | 1.6 | El perno no se desplazó, se produjo fisura del anillo, se detuvo la prueba por seguridad. |
| | | | | 34.33 | | | | |
| Split Set N°24 | 7.2 | 1.50 | 39.5 | 35.16 | By Pass 815 NE, Nv.4330 Zona Ursula | 40 – 45 | 1.4 | El perno se desplazó, no se produjo fisura del anillo, zona de mala calidad del terreno. |
| | | | | 34.33 | | | | |

Se observa que los Split set corrugado de 5 pies, superan las 5 toneladas obtenidas de las pruebas de arranque.

Tabla 72

Pull test de Split set corrugados de 5 pies con cartucho de cemento

| N° | Carga Aplicada (t) | Largo (m) | Ø Perno (mm) | Ø Broca (mm) | Nivel de prueba | Calidad de roca (RMR) | t/pie | Condición post tracción |
|----------------|--------------------|-----------|--------------|--------------|----------------------------|-----------------------|-------|---|
| Split Set N°22 | 7.7 | 1.50 | 39.5 | 35.16 | By Pass 815 NE, Nv.4330 | 40 – 45 | 1.5 | El perno no se desplazó, se produjo fisura del anillo, se detuvo la prueba por seguridad. |
| | | | | 34.33 | | | | |
| Split Set N°23 | 7.8 | 1.50 | 39.5 | 35.16 | By Pass 815 NE, Nv.4330 | 40 – 45 | 1.6 | El perno se desplazó, no se produjo fisura del anillo, zona de mala calidad. |
| | | | | 34.33 | | | | |
| Split Set N°25 | 8.5 | 1.50 | 39.5 | 35.16 | By Pass 815 NE, Nv.4330 | 40 – 45 | 1.7 | El perno no se desplazó, se produjo fisura del anillo, se detuvo la prueba por seguridad. |
| | | | | 34.33 | | | | |

Para estas pruebas, se instalaron 05 cartuchos de cemento a cada Split set corrugado, el arranque se realizó a las 24 horas de fraguado

Tabla 73

Elongación, desplazamientos y carga en pernos Split set corrugado de 5 pies

| Lectura del manómetro (t/pies) | Desplazamiento (mm) | |
|-----------------------------------|---------------------|--------------|
| | Split set 21 | Split set 24 |
| 0 | 9.50 | 9.56 |
| 2,0 | 16.88 | 15.80 |
| 4,0 | 26.61 | 23.99 |
| 6.0 | 36.22 | 30.11 |
| 7.0 | 39.30 | |
| 8.0 | 43.48 | |

Tabla 74

Pull Test en pernos Split set corrugado de 5 pies con cartucho de cemento

| Lectura del manómetro (t/pies) | Desplazamiento (mm) | | |
|-----------------------------------|---------------------|-----------------|-----------------|
| | Split set 22 | Split set 23 | Split set 25 |
| 0 | 9.49 | 9.46 | 9.53 |
| 2,0 | 18.59 | 11.57 | 12.17 |
| 4,0 | 33.33 | 22.92 | 19.63 |
| 6.0 | | 32.73 | 24.63 |
| 8.0 | 43.06 | | |

Tabla 75

Pull test de Split set corrugados de 5 pies sin cartuchos de cemento

| N° | Split set N° | Carga Aplicada (t) | RMR | t/pie |
|----------|----------------|--------------------|---------|-------|
| 1 | Split Set N°21 | 8.0 | 40 – 45 | 1.6 |
| 2 | Split Set N°24 | 7.2 | 40 – 45 | 1.4 |
| 3 | Split Set N°26 | 7.9 | 40 – 45 | 1.6 |
| 4 | Split Set N°29 | 7.2 | 40 – 45 | 1.4 |
| 5 | Split Set N°30 | 7.3 | 40 – 45 | 1.5 |
| Promedio | | 7.5 | 40 – 45 | 1.5 |

Figura 35

Pull test de Split set corrugados de 5 pies de 39.5 mm de diámetro con cartucho de cemento en RMR 40-45.

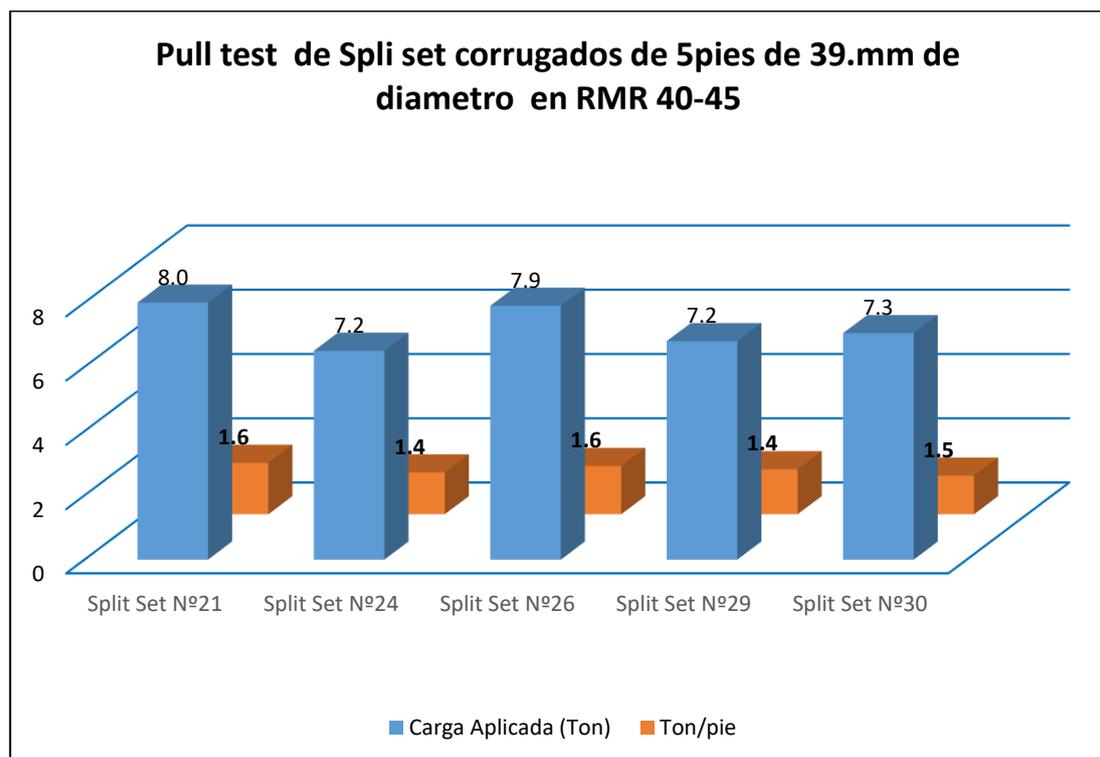


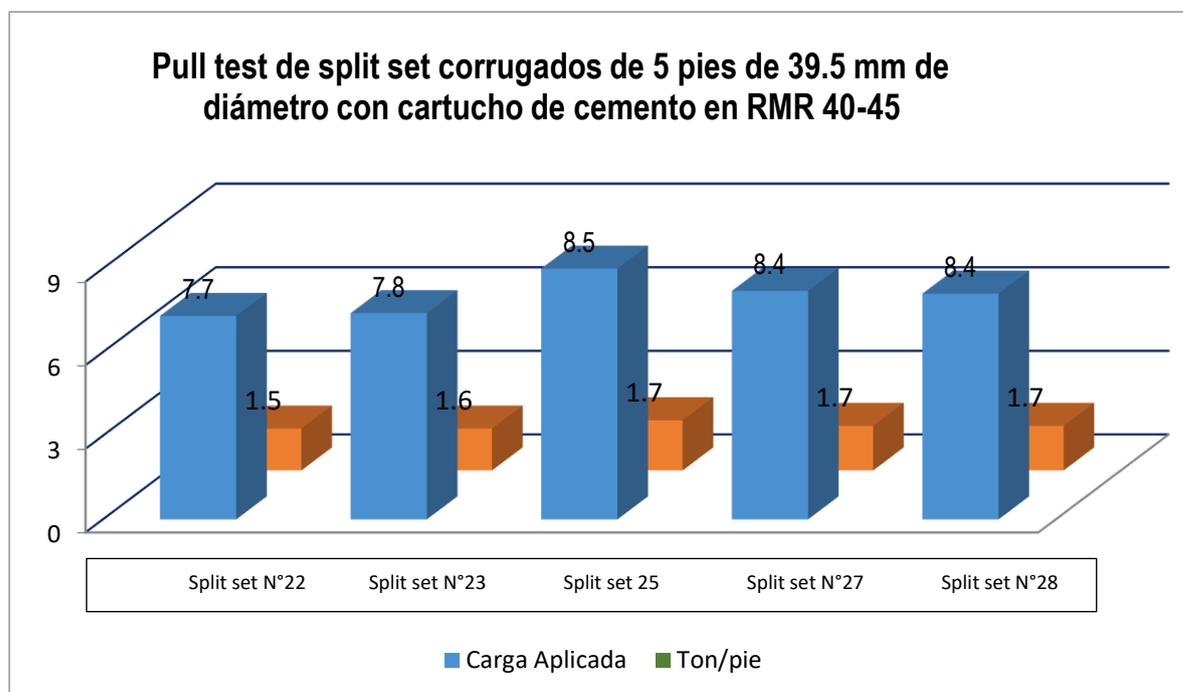
Tabla 76

Pull test de Split set corrugados de 5 pies de 39.5 mm de diámetro con cartucho de cemento en RMR 40-45

| N° | Split set N° | Carga Aplicada (t) | RMR | t/pie |
|----------|----------------|--------------------|---------|-------|
| 1 | Split Set N°22 | 7.7 | 40 – 45 | 1.5 |
| 2 | Split Set N°23 | 7.8 | 40 – 45 | 1.6 |
| 3 | Split Set N°25 | 8.5 | 40 – 45 | 1.7 |
| 4 | Split Set N°27 | 8.4 | 40 – 45 | 1.7 |
| 5 | Split Set N°28 | 8.4 | 40 – 45 | 1.7 |
| Promedio | | 8.2 | 40 – 45 | 1.6 |

Figura 36

Pull test de Split set corrugados de 5 pies de 39.5 mm de diámetro con cartucho de cemento en RMR 40-45



4.4.1. Resultados logrados de Split set corrugado de 5 pies

- La carga promedio que soportaron los pernos Split Set Corrugados de 5 pies de longitud fueron **7.5 t**
- La carga promedio que soportaron los pernos Split Set de 5 pies de longitud con cartuchos de cemento fueron **8.2 t** Para cada perno se instaló 05 cartuchos de cemento y se realizó la prueba a las 24 horas.
- La capacidad de anclaje de Split set corrugado sin mortero de cemento es 1,5 t/pie, y la capacidad de anclaje de Split set corrugado con cemento es 1.6 t/pie, Los resultados finales fueron satisfactorios en todos los aspectos tanto técnicos de prueba como de las características físicas de los elementos de sostenimiento, en todo el procedimiento de instalación y las pruebas se han procedido conforme las exigencias de Osinerming para cumplir con las normas vigentes en el Perú, todos los resultados son satisfactorios tal como se muestra en Tabla 71, Figura 35, Tabla 77 y Figura 36, los resultados de la instalación de anclajes en las progresivas evaluadas se observan en Figura 37, Figura 38 respectivamente.

Figura 37

Resultados de las pruebas de arranque de los pernos Split set corrugados de 5 pies de 39.5 mm sin cemento



Figura 38

Resultados de las pruebas de arranque de los pernos Split set corrugados de 5 pies de 39.5 mm con cartuchos de cemento



4.5. DEMOSTRACIÓN DE HIPÓTESIS 2

La hipótesis propuesta ha sido “Adicionando cartuchos de cemento se logra incrementar la capacidad de anclaje de los pernos Split set corrugados respecto a Split set convencional en By Pass 815 NE de la Unidad Minera Las Águilas – CIEMSA” los resultados de carga aplicada a Split set convencional y a Split set corrugado son los siguientes.

- **Split set convencional sin cartucho**

La carga promedio que soportaron los pernos Split set de 5 pies de longitud fueron 5.7 t, en RMR 40-45, capacidad de anclaje es 1,1 t/pie

- **Split set convencional con cartuchos de cemento**

La carga promedio que soportaron los pernos Split Set de 5 pies de longitud con cartuchos de cemento fueron 7.0t, Para cada perno se instaló 05 cartuchos de cemento y se realizó la prueba a las 24 horas. La capacidad de anclaje es 1,4 t/pie



- **Split set corrugado sin cartucho.**

La carga promedio que soportaron los pernos Split Set corrugado sin cemento de 5 pies de longitud fueron 7.5t, en RMR 40-45, la capacidad de anclaje es 1,5 t/pie

- **Split set corrugado con cartuchos de cemento**

La carga promedio que soportaron los pernos Split Set corrugados de 5 pies de longitud con cartuchos de cemento fueron 8.2 t, en RMR 40-45, Para cada perno se instaló 05 cartuchos de cemento y se realizó la prueba a las 24 horas, la capacidad de anclaje de Split set corrugado con cemento es de 1.6 t/pie

Como resultado de las pruebas el Split set corrugado tiene mayor capacidad de anclaje respecto a Split set convencional considerando estos resultados es recomendable hacer uso de Split set corrugado, primero por su capacidad de anclaje, por su versatilidad en el manejo para instalación y segundo por su resistencia a la corrosión adicionando cartuchos de cemento por la presencia de aguas subterráneas, con los resultados obtenidos se demuestra la hipótesis 2 Adicionando cartuchos de cemento se logra incrementar la capacidad de anclaje de los pernos Split Set convencionales de 5.7t se incrementó a 7.0t, 7.5 con Split set corrugados y 8.2t en Split set corrugado con cartuchos de cemento.

Cabe resaltar que mejores resultados se obtendrán con el uso de pasta o lechada de cemento ya que depende en gran manera la dispersión del cemento en toda la longitud del perno cerrando las aberturas y en tiempo mayores a 24horas se obtendrá una mayor capacidad de anclaje.

4.6. DISCUSIONES RESPECTO A OBJETIVO ESPECÍFICO 2

Hurtado J. (2018), concluye; las pruebas se realizan con la finalidad de verificar la calidad del producto y llevar un control de acero de los Split set, para garantizar las



labores seguras y evitar accidentes por caída de rocas se realizaron 37 pruebas de arranque de pernos Split Set de 5ft, en 8 sesiones de trabajo; de los cuales 33 pasaron la prueba de arranque y 4 pruebas no pasaron. los resultados obtenidos de las Pruebas del Split Set de 5 ft, en el SN 742B NV 200 de la Sección I; fueron: De las 5 pruebas de Pernos Split set de 5' realizados en el Nv_200, pasaron la Prueba los 5 Pernos Split Set de 5' Es decir, se ha aprobado el 100 % de la calidad del sostenimiento instalado, la resistencia mínima que debe alcanzar un Perno Split Set de 5' en estas pruebas; de 5 t es 1.0 t / pie, los resultados obtenidos de las Prueba de calidad sección IV, en el Bp 460-Sur Nv 4202; fueron: De las 4 pruebas de Pernos Split set realizados en el Nv_4202 Bp 460-Sur dieron muy buenos resultados para la calidad de roca RMR 40 pasaron las pruebas ver cuadro superior. Es decir, se ha aprobado el 100 % de la calidad del sostenimiento instalado, en estas pruebas se utilizaron brocas 38 mm para la instalación de los pernos, los resultados obtenidos de las pruebas de calidad sección V, en la VN 626- B Nv4152; fueron: De las 8 pruebas de Pernos Split Set realizados en el Nv_4152 VN 626-B dieron muy buenos resultados para la calidad de roca RMR 40 =45, pasaron las pruebas ver cuadro superior. Es decir, se ha aprobado el 100 % de la calidad del sostenimiento instalado, en estas pruebas se utilizaron brocas 38 mm para la instalación de los pernos.

Suasnabar P. (2019), respecto a pernos Split set afirma, en el sostenimiento con Split set, el diámetro de los tubos ranurados usado en la Compañía Minera Casapalca S.A. son de 39mm de por 7 pies de longitud. Correctamente bien instalados alcanzan valores de 1ton por pie, sosteniendo en toda su longitud hasta 7 toneladas. Los Split sets son utilizados mayormente para reforzamiento temporal, usualmente conformando sistemas combinados de refuerzo en terrenos de calidad regular a mala. En roca intensamente fracturada y débil no es recomendable su uso. Respecto a las identificaciones variables afirma, la variable independiente está constituido por Análisis técnico de los frentes



(RMR, RQD, GSI, Q), con sus indicadores tipo de roca I, tipo de roca II, tipo de roca III y tipo de roca IV; y la variable dependiente constituido por optimización de los frentes en la Cía. Minera Casapalca S.A. con sus indicadores; informes de tipos de sostenimiento anteriores, Cumplimiento del procedimiento de sostenimiento, y Evaluación del programa anual de sostenimiento (pp71-73). La investigación está sustentada en la calidad del macizo rocoso y el tipo de soporte a aplicarse con Split set y otros, considerando las particularidades de la Compañía Minera Casapalca S.A.

En el presente trabajo de investigación la calidad del macizo rocoso es de mala a regular motivo por el que se ha optado un soporte geomecánico apropiado con Split set corrugado adicionando 05 cartuchos de cemento se logra incrementar la capacidad de anclaje de los pernos Split Set a 8.2t (1.6t/pie), manteniendo un correcto batido y adherencia del cemento, acero y macizo rocoso. Respecto a la capacidad en anclaje del Split set convencional es 5.7t (1.1t/pie), del Split set convencional con cartuchos de cemento es 7.0t(1.4t/pie) y del Split set corrugado es 7.5t(1.6t/pie).

Considerando estos resultados es recomendable hacer uso de Split set corrugado, primero por su capacidad de anclaje, por su versatilidad en el manejo para instalación y segundo por su resistencia a la corrosión adicionando cartuchos de cemento por la presencia de aguas subterráneas impermealizando la condición, estos resultados son fundamentales para definir el sostenimiento el By Pass 815 NE de la Unidad Minera Las Águilas.



V. CONCLUSIONES

La calidad del macizo rocoso en progresiva 520,00m a 529,00m obtenidos de doce estaciones geomecánicas tiene un mínimo valor de RMR es 40 y el máximo valor de RMR es 45, de los cuales 03 estaciones muestran una calidad mala en la escala de Bieniawski en [21,40], en 09 estaciones tienen RMR [41,60], los resultados del mapeo geomecánico en la progresiva 520,00 a 529,00m la familia 2 es de calidad mala con RMR [21-40] tipo IV, las familias 1,3 y 4 tienen un RMR [41-60] tipo III que corresponde a roca regular.

La capacidad en anclaje de los Split set con 5pies de longitud convencionales fueron 5.7t, los pernos Split set convencionales con cartuchos de cemento fueron 7.0t, los pernos Split set corrugados fueron 7.5t y la carga promedio que soportaron los pernos Split set corrugado con cartuchos de cemento fueron 8.2t, en RMR 40 - 45

La capacidad de anclaje de Split set convencional es 1,1t/pie, y con cemento es 1,4t/pie, mientras la capacidad de anclaje de Split set corrugado es de 1,5t/pie y con cemento 1,6t/pie como resultado de las pruebas realizadas el Split set corrugado tiene mayor capacidad de anclaje respecto a Split set convencional, considerando estos resultados es recomendable hacer uso de Split set corrugado, primero por su capacidad de anclaje, por su versatilidad en el manejo para instalación y segundo por su resistencia a la corrosión adicionando cartuchos de cemento por la presencia de aguas subterráneas, estos resultados son fundamentales para definir el sostenimiento en By Pass 815 NE de la Unidad Minera Las Águilas.



VI. RECOMENDACIONES

Se recomienda la evaluación de la calidad del macizo rocoso mediante las clasificaciones RMR y Q de Barton de curvas para establecer en escalas más cortas considerando el dominio estructural de mala y regular calidad con arreglo estructural.

Considerar el diámetro de broca para la instalación de los pernos Split set según la calidad de la masa rocosa. Para calidad de roca tipo III de 35 a 36 mm, para calidad de roca tipo IV de 34 a 35 mm.

Fabricar anillos con refuerzos de soldadura para evitar ruptura y sujeción de platinas, para la ejecución es importante seguir con la continua capacitación a las diferentes guardias ya que, para el uso de cartuchos de cemento es vital el correcto batido del cemento y mezcla con el acero y masa rocosa para una correcta instalación y aplicación de sostenimiento

Continuar con las pruebas en Split set con cemento, pero realizarlo con pasta de cemento ya que reduciría el problema del batido al ser una mezcla suelta y continua, es de mucha importancia el correcto batido y humectación de los cartuchos de cemento ya que al convertirse en un perno por adherencia tiene que existir una buena mezcla entre cemento y acero no quedando áreas vacías hasta la boca del taladro para obtener mejores resultados en By Pass 815 NE de la Unidad Minera Las Águilas.



VII. REFERENCIAS

- Ander-Egg, E. (2000). *Introducción a las técnicas de investigación Social*, Humanitas.
- Arias, F. (2012). *El proyecto de investigación. Introducción a la metodología científica* (5ª ed.). Episteme.
- Ayala, L. et al (1987). *Manual de Taludes* (pp.450). Instituto Geológico y Minero de Espada.
- Barton N., Lien R. y Lund J. (1974). *Analysis of Rock Mass Quality and Support Practice in Tunneling, and a Guide for Estimating Support Requirements*. NGI Internal Rept No. 54206.
- Barton et Al. (1974). *Índice calidad tunelera (Q) para la determinación de las características de la masa rocosa y de los requerimientos de sostenimiento de túneles*. Repositorio UNAP
- Bieniawski, Z. T., (1976). *Rock Mass Classification in Rock Engineering, Proceedings of The Symposium on Exploration for Rock Engineering, Vol. 1, A.A.* (pp 96-100). Baklava, Rotterdam.
- Bieniawski, Z. T. (1989). *Engineering rock mass classifications*. New York: John Wiley & Sons.
- Bongiorno F., Belandria N. (2012). *Geotecnia aplicada, Clasificaciones geomecánicas RMR DE Bieniawski Q de Barton, GSI*. Universidad de Los Andes Facultad de Ingeniería, Escuela de Geológica Mérida Venezuela
- Cecenarro J. (2019). *Evaluación de la capacidad de soporte de los pernos Split set y su distribución para la prevención de accidentes por desprendimiento de rocas en la U.E.A. Heraldos Negros de la Compañía Minera San Valentín S.A. Huancavelica* [Tesis de grado, Universidad Nacional del Altiplano Facultad de Ingeniería de Minas Puno Perú]. Repositorio UNAP.



- Clasificación geomecánica.* (s.f). <https://vdocuments.mx/download/clasificacion-geomecanica-563e365ebe480>
- Clasificación geomecánica y DIPS.* (s.f). <https://vdocuments.mx/download/clasificacion-geomecanica-y-dips>
- Córdova D. (2008). *Geomecánica en el minado subterráneo-Mecánica de rocas y geomecánica – Conceptos fundamentales* (pp1-2). [Tesis de maestría, Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión-Cerro de Pasco-Perú]. Repositorio UNAP.
- Cueva C. (1998). *Mecánica de Rocas Texto Universitario* de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión-Cerro de Pasco-Perú.
- Córdova R. (2008). *Geomecánica en el minado subterráneo-Mecánica de rocas y geomecánica – Conceptos fundamentales* (pp4-20). [Tesis de maestría, Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión-Cerro de Pasco-Perú]. Repositorio UNAP.
- Chucho D. (2017). *Gestión de un programa de seguridad basado en el comportamiento dentro del proceso de mejora continua para el control de pérdidas en la U.E.A. Las Águilas.* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Facultad de Geología, Geofísica y Minas, Escuela Profesional de Ingeniería de Minas]. Repositorio UNSA.
- Diccionario de minería.* (2010).
https://www.academia.edu/39601667/DICCIONARIO_DE_MINER%C3%8DA_INGL%C3%89S_ESPA%C3%91OL_INGL%C3%89S_MINING_DICTIONARY
- Escalante H. (2017). *Mejoramiento del sistema de sostenimiento, con madera, mediante pernos Split set y malla electrosoldada en labores de explotación de la empresa “MACDESA” – Arequipa.* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Altiplano, Facultad de Ingeniería de Minas]. Repositorio UNAP.



- Espinoza J.C. (2011). *Sostenimiento mecanizado en labores mineras, en la Compañía de Minas Volcan S.A.A – Unidad de producción Andaychagua*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Centro del Perú, Facultad de Ingeniería de Minas]. Repositorio UNCP.
- Geocontrol. (s.f.).
https://geocontrol.es/geocontrol/images/pdf/08EB189_adif_errores_en_la_aplicacion_bieniawski.pdf
- Geomecanica Chacua*.(s.f.).<https://vdocuments.mx/tabla-geomecanica-chacua-pptx.html>
- Geomecanica Rosaura* (s.f.). <https://vdocuments.mx/jm20100225-geomecanica-rosaura.html>
- González de Vallejo L. (2002). *Ingeniería geológica*. Pearson Prentice Hall.
- Gonzales de vallejo L., Ferrer M. (2007). *Manual de campo par la descripción y caracterización de macizos rocosos en afloramientos* (2da edición). Instituto Geológico y Minero de España.
- Giraldo E. (2018). *Capacidad de anclaje de los Split sets en función de su longitud efectiva de anclaje* (vol. 21 n° 41, 2018: 9 – 16, Issn-l:1561-0888). Rev. del Instituto de Investigación FIGMMG-UNMSM.
- Hernández, R; Fernández, C. y Baptista, P. (2006) *Metodología de la Investigación* (4a Ed). México: McGraw-Hill.
- Hoek et. Al (1994), *Índice de resistencia geología GSI, para clasificar la masa rocosa, estimar la resistencia de la masa rocosa y el sostenimiento*. University of Toronto
- Hoek, E. y Brown, T. (1998). *Practical Estimates of Rock Mass Strength International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences* (Volume 34, No. 8, pp 1165-1186). University of Toronto
- Hoek, E. (2007). *Practice Rock Engineering*. University of Toronto



- Hoek, E.; Wood, D (1987). *Support in Underground Hard Rock Mines* (Special Volume 35, 1987, pages 1-6.). Montreal; Canadian Institute of Mining and Metallurgy.
- Hurtado J. (2018), *Calidad de instalación y capacidad de soporte de pernos Split set mediante la prueba de arranque, en Sociedad Minera El Brocal S.A.A. Unidad de Producción Colquijirca 2018* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, Facultad de Ingeniería de Minas, Escuela de Formación Profesional de Ingeniería de Minas]. Repositorio UNCP.
- Introducción a la geomecánica y geotecnia.* (s.f.) <https://vdocuments.mx/31-introduccion-a-la-geomecanica-y-geotecnia.html>
- ISRM. (1978). *Suggested methods for the quantitative description of discontinuities in rock masses.* *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. Geomech. Abstr.* [https://doi.org/10.1016/0148-9062\(79\)91476-1](https://doi.org/10.1016/0148-9062(79)91476-1).
- Jordá Bordehore, L., Tomás Jover, R., Arlandi Rodríguez, M., y Abellán Fernández, A. (2016). *Manual de estaciones geomecánicas Descripción de macizos rocosos en afloramientos.* Ed. ETSI Minas.
- Jiménez, C. (1983). *Población y muestra. El muestreo* (p. 249). Madrid UNED.
- Laubscher, et. Al (1977). *RMR de Bieniawsky modificada para la minería MRMR (Mining Rock Mas Rating), aplicable a la estimación del sostenimiento y parámetros de los métodos de minado por hundimiento principalmente.* https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/mineria/Documentos/Publicaciones/Guia-Criterios-Geomecanicos.pdf
- Lázaro J. (2018), *Geomecánica aplicada al diseño del sostenimiento para mejorar la estabilidad de las labores mineras en la Mina Caridad de la Compañía Minera Lincuna S.A. – 2017* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, Facultad de Ingeniería de Minas, Geología y Metalurgia, Escuela



Académico Profesional de Ingeniería de Minas Huaraz Perú]. Repositorio UNASAM.

López Jimeno, Carlos (1997). *Manuel de túneles y obras subterráneos*. Madrid: Graficas Arias Montano.

Mamani F. (s.f.). *Mapa Geomecanico*. <https://es.scribd.com/doc/182512172/MAPEO-GEOMECANICO>

Manrique J. (s.f.). *Explotación de minas Métodos de explotación*.

https://www.academia.edu/35562282/MI57E_Explotaci%C3%B3n_de_Minas_M%C3%89TODOS_DE_EXPLOTA%C3%93N_SELECCI%C3%93N_DE_M%C3%89TODO

Marinos, P., Marinos, V. y Hoek, E. (2007). *Índice de fuerza geológica (GSI). Una herramienta de caracterización para evaluar propiedades de ingeniería para masas de rocas. Obras subterráneas en condiciones especiales*. Editado por Romana, Perucho, Olalla. Taylor and Francis Group, Londres ISBN 978-0-415-45028-7.

Mecánica de rocas. (2018). <https://www.studocu.com/pe/document/universidad-nacional-del-altiplano-de-puno/mecanica-de-rocas/examenes/examen-abril-2018-respuestas/5007762/download/examen-abril-2018-respuestas.pdf>

Métodos de explotación. (s.f.)

https://www.academia.edu/19211807/Apunte_METODOS_DE_EXPLORACION

Método por corte y relleno (s.f.).

https://www.academia.edu/35820058/Metodo_por_corte_y_relleno

OSINERMING (2017). *Organismo Supervisor de Inversión en Energía y Minería guía de criterios geomecánicos para diseño, construcción supervisión y cierre de labores subterráneas*. Depósito legal B.N.P. N°2017-05838 Lima Perú



- Osinergmin (2017). *Guía de criterio geomecánico para diseño, construcción, supervisión y cierre de labores subterráneas*.
https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/mineria/Documentos/Publicaciones/Guia-Criterios-Geomecanicos.pdf
- Ortiz O., Fernández F. y Blas W. (2003). Sostenimiento activo de excavaciones mineras subterráneas y a cielo abierto mediante el mortero de resina en pernos y tendones de anclaje. https://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtual/publicaciones/geologia/v06_n11/so-ste_activo.htm
- Palmstrom, A. (1998). *Characterizing Rock Masses by the R_{Mi} for Use in Practical Rock Engineering, Tunnelling and Underground Space Technology, Part 1: The Development of the Rock Mass Index (R_{Mi})* (Volumen II, No. 2, pp 175-188), *Part 2: Some Practical Applications of the Rock Mass Index (R_{Mi})*, (Volume II, No. 3, pp 287-304). ScienceDirect.
- Priest, S. (1993). *Discontinuity Analysis for Rock Engineering* (pp. 473). Chapman & Hall.
- Parry, R. (1995). *Mohr Circles, Stress Paths and Geotechnics* (pp. 230). E & FN SPON.
- Ramírez P., De la cuadra P., Lain P. y Grijalbo E, (1989). *Mecánica de Rocas aplicada a la minería Metálica subterránea*. Instituto geológico y minero de España Madrid-España.
- Ramírez P., Alejano L. (2004), *Mecánica de rocas, fundamentos e ingeniería de taludes*, E.T.S. de Ingenieros de Minas. Universidad Politécnica de Madrid España.
- Ríos L. (2013), *Texto académico Mecánica de rocas, estabilidad de taludes en rocas y suelos* Atlantic International University Ciencias e Ingeniería, Ingeniería de minas Honolulu, Hawái l. (pp. 7-24). Repositorio UCV.



- Sánchez L. (2013). *Elementos de sostenimiento*. Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Escuela de Ingenierías de Minas Lima – Perú.
- Sostenimiento en minería Subterránea. (2004). http://geco.mineroartesanal.com/wiki/download_wiki_attachment.php?attId=1201
- Sostenimiento y geomecánica I* (s.f.). <https://vdocuments.mx/download/sostenimiento-y-geomecanical>
- Tamayo, M. (2012). *El Proceso de la Investigación Científica* (pp.148). México: Limusa.
- Tamayo P., Jácome, J. Vasquez A. y Zurita V. (2017). La industria de la minería en el Perú.
https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/mineria/Documentos/Publicaciones/Osinergmin-Industria-Mineria-Peru-20anios.pdf
- Sabino C. (1992). El proceso de investigación.
[https://www.google.com/search?q=Sabino%2C+C.\(2008\).+El+proceso+de+investigaci%C3%B3n.+Retrieved+from+metodoinvestigacion.files.wordpress.com&q=Sabino%2C+C.\(2008\).+El+proceso+de+investigaci%C3%B3n.+Retrieved+from+metodoinvestigacion.files.wordpress.com&aqs=chrome...69i57.3068j0j7&sourceid=chrome&ie=UTF-8](https://www.google.com/search?q=Sabino%2C+C.(2008).+El+proceso+de+investigaci%C3%B3n.+Retrieved+from+metodoinvestigacion.files.wordpress.com&q=Sabino%2C+C.(2008).+El+proceso+de+investigaci%C3%B3n.+Retrieved+from+metodoinvestigacion.files.wordpress.com&aqs=chrome...69i57.3068j0j7&sourceid=chrome&ie=UTF-8)
- Sabino, C. (2008). *El proceso de investigación. Retrieved from método de investigación. Files.wordpress.com.*
- Sierra Bravo, R. (1988). *Técnicas de investigación Social. Teoría y Ejercicios* (pp. 226). Madrid: Paraninfo.
- Salcedo, D., (1983). *Macizos Rocosos: Caracterización, Resistencia al Corte y Mecanismos de Rotura* (pp. 143-215). Conferencia 25 Aniversario Sociedad Venezolana de Mecánica de Suelos e Ingeniería de Fundaciones.



- SNMPE (2004). *Sociedad Nacional de Minería, Petróleo y Energía, Manual de geomecánica aplicada a la prevención de accidentes por caída de rocas en minería subterránea Lima Perú*. SNMPE.
- Sumiri P. (2011). *Aplicación de geomecánica en prevención de caída de rocas en corte y relleno ascendente unidad económica administrativa Poracota Cía. de Minas Buenaventura*. Universidad Nacional del Altiplano FIM –Puno, Perú.
- Suasnabar P. (2019). *Análisis técnico para la optimización del sostenimiento en los frentes de la compañía Minera Casapalca S.A.* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, Facultad de Ingeniería de Minas, Escuela de Formación Profesional de Ingeniería de minas]. Repositorio UNDAC.
- Ucar R. (2002). *Manual de anclajes en obras de tierras” de la Universidad de los Andes*. Facultad de Ingeniería Mérida, Venezuela.
- UCAR, R. (1988). *New Design Methods of Ground Anchoring* (pp. 288). Montreal McGill.
- Villardón, J. (2014). *Introducción a la inferencia estadística: muestreo y estimación puntual y por intervalos*. Universidad de Salamanca.
<http://biplot.usal.es/problemas/confianza/INFERENCIA.pdf>
- Villasante S.F.E, Ramos C.A. (2010). *Estadística descriptiva con SPSS para Windows*. Edit UNA Puno-Perú.
- Valencia E. (2019). *Geotecnia - geomecánica PROEMISA “Pruebas de performance de Split set de 05 pies y Malla Electro soldada en formato 2.02m x 25.0 m de cocada 4”x4” en calibre N° 08 (4.2 mm), realizado del 16 al 17 de enero del 2019, en Consorcio Ingenieros Ejecutores Mineros S.A. (CIEMSA). U.P. Las Águilas. Puno-Perú*.



ANEXOS

Anexo 1. Tablas.

Tabla 77

Matriz de recolección de datos

| ID | Buzamiento | Direc.Buz. | Set |
|----|------------|------------|-----|
| 1 | 80 | 344 | 4 |
| 2 | 78 | 201 | 2 |
| 3 | 54 | 274 | 3 |
| 4 | 84 | 157 | 1 |
| 5 | 85 | 347 | 4 |
| 6 | 79 | 213 | 2 |
| 7 | 55 | 270 | 3 |
| 8 | 82 | 156 | 1 |
| 9 | 85 | 340 | 4 |
| 10 | 74 | 201 | 2 |
| 11 | 53 | 271 | 3 |
| 12 | 81 | 158 | 1 |
| 13 | 70 | 350 | 4 |
| 14 | 77 | 204 | 2 |
| 15 | 52 | 272 | 3 |
| 16 | 85 | 150 | 1 |
| 17 | 74 | 340 | 4 |
| 18 | 77 | 202 | 2 |
| 19 | 52 | 271 | 3 |
| 20 | 83 | 170 | 1 |
| 21 | 74 | 341 | 4 |
| 22 | 77 | 200 | 2 |
| 23 | 53 | 270 | 3 |
| 24 | 83 | 157 | 1 |
| 25 | 73 | 341 | 4 |
| 26 | 79 | 210 | 2 |
| 27 | 54 | 272 | 3 |
| 28 | 82 | 160 | 1 |
| 29 | 79 | 342 | 4 |
| 30 | 79 | 211 | 2 |
| 31 | 54 | 273 | 3 |
| 32 | 79 | 158 | 1 |
| 33 | 77 | 334 | 4 |
| 34 | 78 | 212 | 2 |



Tabla 78

Matriz de recolección de datos, continuación

| ID | Buzamiento | Direc.Buzam. | Set |
|----|------------|--------------|-----|
| 35 | 54 | 269 | 3 |
| 36 | 77 | 160 | 1 |
| 37 | 79 | 339 | 4 |
| 38 | 61 | 204 | 2 |
| 39 | 45 | 283 | 3 |
| 40 | 77 | 170 | 1 |
| 41 | 79 | 338 | 4 |
| 42 | 79 | 203 | 2 |
| 43 | 46 | 271 | 3 |
| 44 | 70 | 164 | 1 |
| 45 | 76 | 339 | 4 |
| 46 | 79 | 203 | 2 |
| 47 | 46 | 273 | 3 |
| 48 | 72 | 153 | 1 |
| 49 | 81 | 337 | 4 |
| 50 | 81 | 205 | 2 |
| 51 | 39 | 267 | 3 |
| 52 | 76 | 165 | 1 |
| 53 | 81 | 340 | 4 |
| 54 | 78 | 203 | 2 |
| 55 | 38 | 260 | 3 |
| 56 | 76 | 159 | 1 |
| 57 | 82 | 340 | 4 |
| 58 | 78 | 205 | 2 |
| 59 | 39 | 270 | 3 |
| 60 | 83 | 345 | 4 |
| 61 | 83 | 193 | 2 |
| 62 | 40 | 270 | 3 |
| 63 | 85 | 345 | 4 |
| 64 | 76 | 206 | 2 |
| 65 | 84 | 345 | 4 |
| 66 | 80 | 346 | 4 |
| 67 | 81 | 346 | 4 |
| 68 | 82 | 347 | 4 |

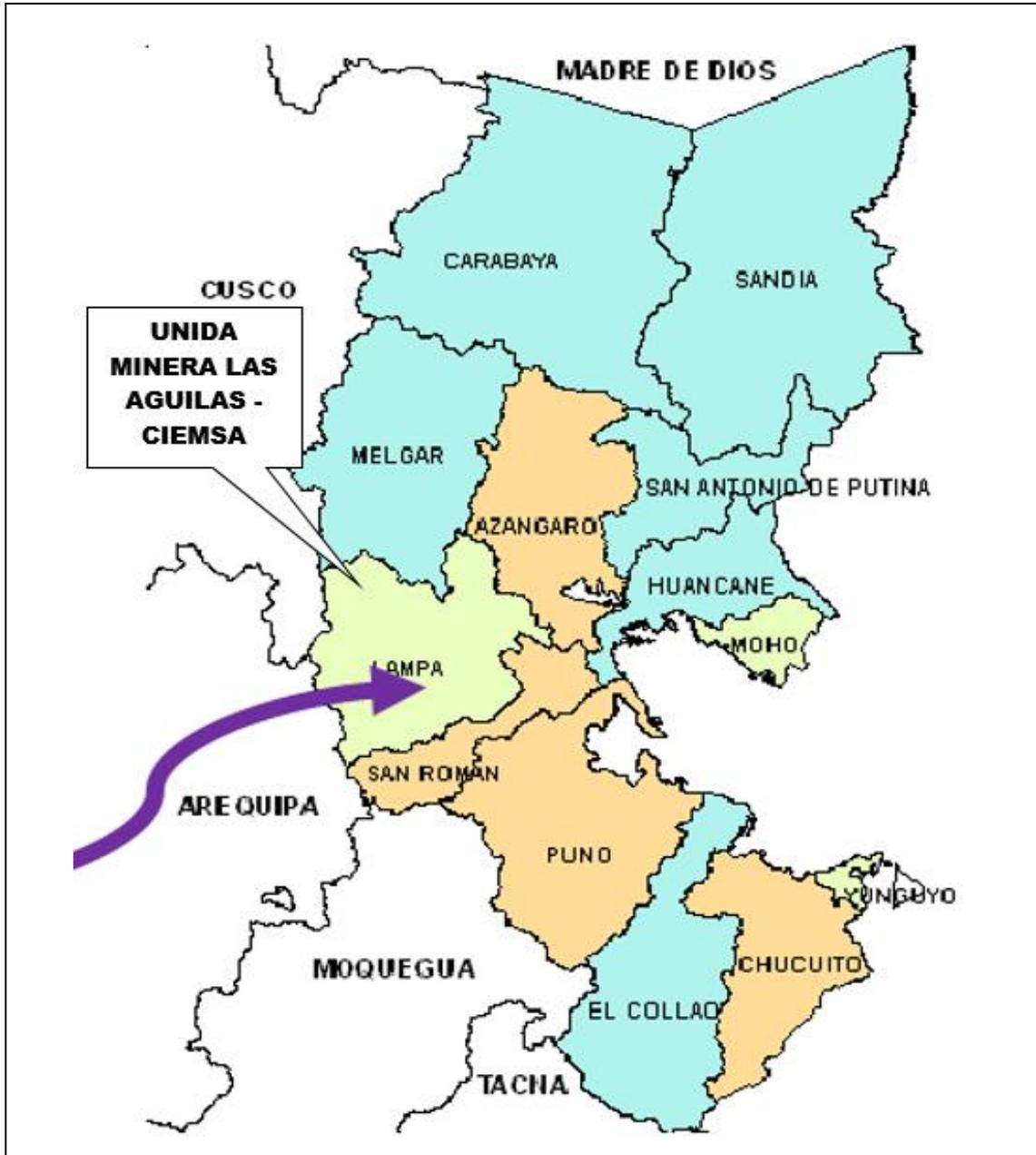
Tabla 79
Matriz de consistencia

| TÍTULO | PROBLEMA | OBJETIVOS | HIPÓTESIS | VARIABLES | METODOLOGÍA |
|--|---|---|---|--|---|
| “Calidad del macizo rocoso en incremento de la capacidad de soporte de Split set corrugado con cartuchos de cemento respecto a Split set convencional en By Pass 815 NE de la Unidad Minera Las Águilas – CIEMSA” “Calidad del macizo rocoso en incremento de la capacidad de soporte de Split set corrugado con cartuchos de cemento respecto a Split set convencional en by pass 815 NE de la Unidad Minera Las Águilas – CIEMSA” | Problema general: ¿Cómo se puede determinar la calidad del macizo rocoso para incrementar la capacidad de soporte de los pernos Split Set corrugados con cartuchos de cemento respecto a Split set convencional en By Pass 815 NE de la Unidad Minera Las Águilas – CIEMSA? | Objetivo general: Determinar la calidad del macizo rocoso para incrementar la capacidad de soporte de los pernos Split Set corrugados con cartuchos de cemento respecto a Split set convencional en By Pass 815 NE de la Unidad Minera Las Águilas – CIEMSA | Hipótesis general: Con la determinación de la calidad del macizo rocoso se logra incrementar la capacidad de soporte de los pernos Split Set corrugados con cartuchos de cemento respecto a Split set convencional en By Pass 815 NE de la Unidad Minera Las Águilas – CIEMSA | 1. Variable independiente Calidad del macizo rocoso mediante clasificaciones geomecánicas 2. Variable dependiente: Cartuchos de cemento para incrementar capacidad de anclaje de los pernos Split Set corrugados respecto a Split set convencional en By Pass 815 NE de la Unidad Minera Las Águilas – CIEMSA | Tipo de investigación: Descriptiva y explicativa Cuasi experimental Diseño de investigación: Descriptiva aplicado Población: Arreglo estructural del macizo rocoso Soporte de carga de pernos Split set convencionales y corrugados Muestra: La muestra es igual a la población en: <ul style="list-style-type: none"> • Discontinuidades • Soporte de carga de Split set convencional • Split set corrugado. Técnicas Evaluación laboratorio Instrumentos: Registro de datos Para RMR. Registro de datos de Pull test |
| | Problemas específicos: ¿Cómo se puede hacer uso de las clasificaciones geomecánicas como método empírico para determinar la calidad del macizo rocoso? | Objetivos específicos: Hacer uso de las clasificaciones geomecánicas como método empírico para determinar la calidad del macizo rocoso | Hipótesis específicas Mediante las clasificaciones geomecánicas como método empírico se logra la calidad del macizo rocoso | | |
| | ¿Cómo se puede adicionar cartuchos de cemento para incrementar la capacidad de anclaje de los pernos Split Set corrugados respecto a Split set convencional en By Pass 815 NE de la Unidad Minera Las Águilas – CIEMSA? | Determinar la capacidad de anclaje de los Split set corrugados respecto a los pernos Split set convencional añadiendo cartuchos de cemento en By Pass 815 NE de la Unidad Minera Las Águilas – CIEMSA. | Adicionando cartuchos de cemento se logra incrementar la capacidad de anclaje de los pernos Split Set corrugados respecto a Split set convencional en By Pass 815 NE de la Unidad Minera Las Águilas – CIEMSA | | |

Anexo 2. Figuras

Figura 39

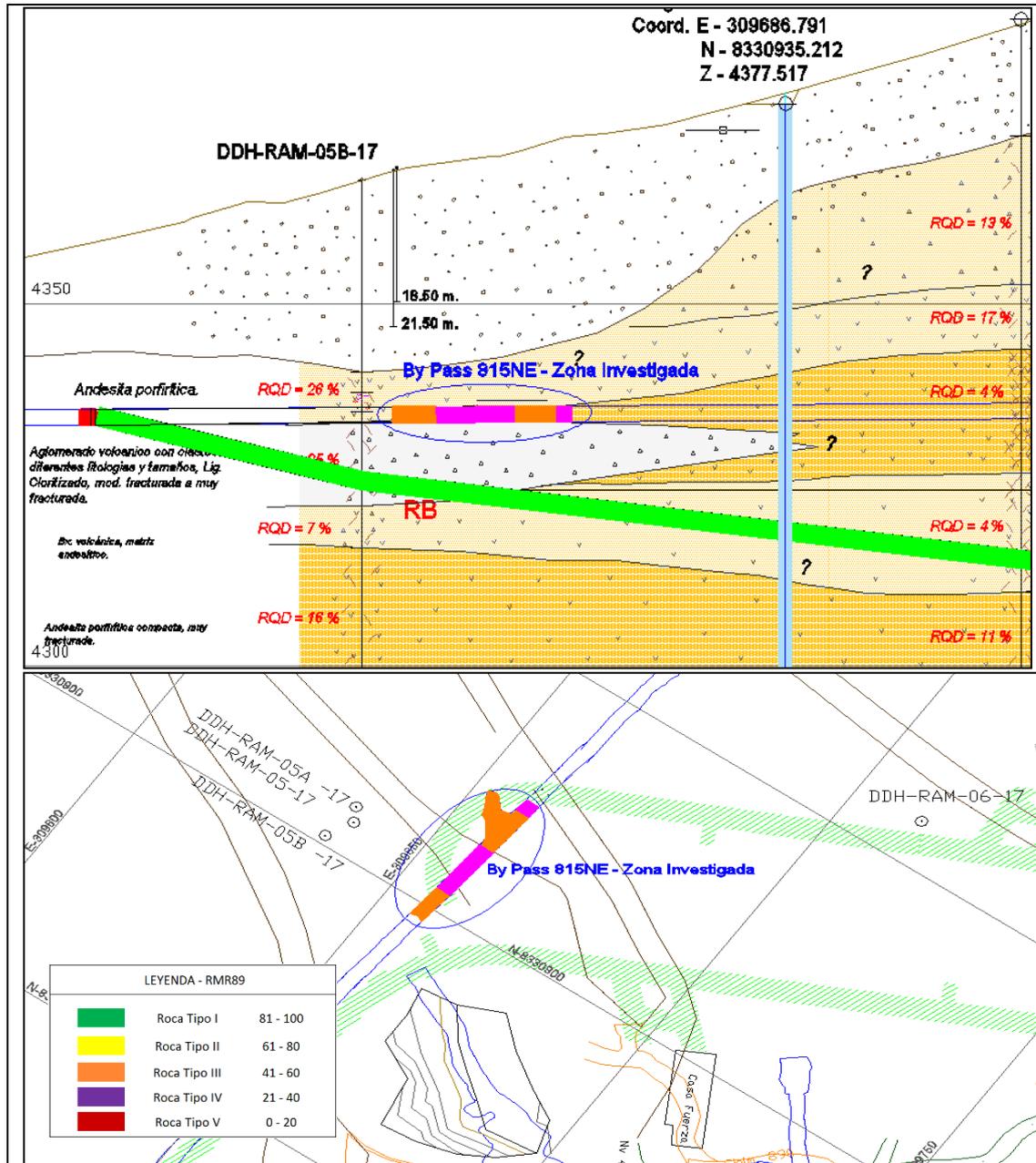
Ubicación de la Unidad Minera Las Águilas- CIEMSA.



| | | |
|---|---|---|
| | UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO-PUNO FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA DE MINAS | Plano N° 01 |
|  | <p style="text-align: center;">UBICACIÓN DE UNIDAD MINERA LAS AGUILAS - CIEMSA</p> <p>Diseño: E. Condori C. AREA: Geomecánica</p> <p>Fecha: Enero de 2020 Rev.: E. López P.</p> |  |

Figura 40

Estaciones geomecánicas en Unidad Minera Las Águilas-CIEMSA



| | | |
|--|-----------------------|-------------------|
| UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO-PUNO | | Plano N° 02 |
| FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS | | |
| ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA DE MINAS | | |
| ESTACIONES GEOMECAÑICAS EN UNIDAD | | |
| MINERA LAS AGUILAS - CIEMSA | | |
| | Diseño: E. Condori C. | AREA: Geomecánica |
| | Fecha: Enero de 2020 | Rev.: E. López P. |
| | | |

Figura 41

Certificado de calidad de FORMIN



Especialistas en Fortificación y Sostenimiento para la
minería.

CERTIFICADO DE CALIDAD

N°-17/2018-523

| | |
|---------------------------|------------------------|
| CLIENTE | : CIEMSA |
| PRODUCTO | : PERNO TIPO SPLIT SET |
| FECHA DE EMISIÓN | : 03/12/2018 |
| ORDEN DE COMPRA N° | : 0040003353 |

FORMIN S.A.C.

Certifica que los pernos tipo Split Set cumplen con las siguientes especificaciones técnicas.

1. SPLIT SET

Resultados.

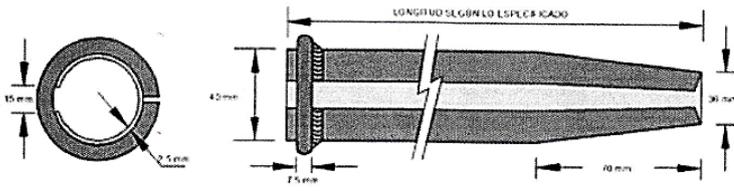
Tubo Split Set 039mm - esp. 2.3mm

| DIÁMETRO DE PERNO SPLIT SET | | DESCRIPCIÓN | Fluencia (Mpa) | Resistencia a la Tracción (Mpa) | Elongación % |
|-----------------------------|-------------------|-----------------------|----------------------------|---------------------------------|--------------|
| NOMINAL (mm) | TOLERANCIA +/- mm | | | | |
| 39.0 | +0.5/-0mm | PROPIEDADES MECÁNICAS | 450 | 555 | 16 |
| | | CALIDAD | NORMA ASTM -A607 o similar | | |

PARAMETROS DE SOLDADURA Y CAPACIDAD DE ANCLAJE

| PARAMETROS DE SOLDADURA | | CAPACIDAD DE ANCLAJE |
|-------------------------|-----|----------------------|
| Volt. | 25 | |
| Amp. | 185 | |

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL PERNO FRIXTER



"La vida es oro..."

Especialistas en Fortificación y Sostenimiento para la Minería.

Figura 42

Certificado de calidad de FORMIN continuación

Especialistas en Fortificación y Sostenimiento para la minería.



DATOS TECNICOS

Capacidad de anclaje : 1 TN/pie
Profundidad del anclaje : 50 mm mayor que la longitud del Perno Frixer.

PRINCIPALES DIMENSIONES

Diámetro base (mm) : 39.0+/-0.5
Diámetro de ahusamiento : 32 mm
Espesor del material : 2.3 mm
Longitud de ahusamiento : 70mm

2. PLACA DE SUJECIÓN

COMPOSICIÓN QUÍMICA - Pl. 3/16"

ASTM A36

| Componente | C % | Si % | Mn % | P % | S % |
|------------|------|------|------|-------|-------|
| Resultados | 0.20 | 0.10 | 0.19 | 0.014 | 0.007 |

DIMENSIONES

| DIMENSIONES mm | | |
|----------------|----------------------|------|
| ESPESOR | DIAMETRO DE ORIFICIO | LADO |
| 3/16" | 41 | 150 |

ATENTAMENTE



ING. MICHAEL PILLPA B.
LEVEL II ASNT - TC - LA

D.T.O. DE CONTROL Y
ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD

"La vida es oro..."
Especialistas en Fortificación y Sostenimiento para la Minería.

2 /

Planta y oficina principal: Av. Argentina 751 Lima - | Teléfono: 423-7800 / 330-8915 - e-mail:

Figura 43

Resultado de presencia de cuñas en By Pass 815 NE

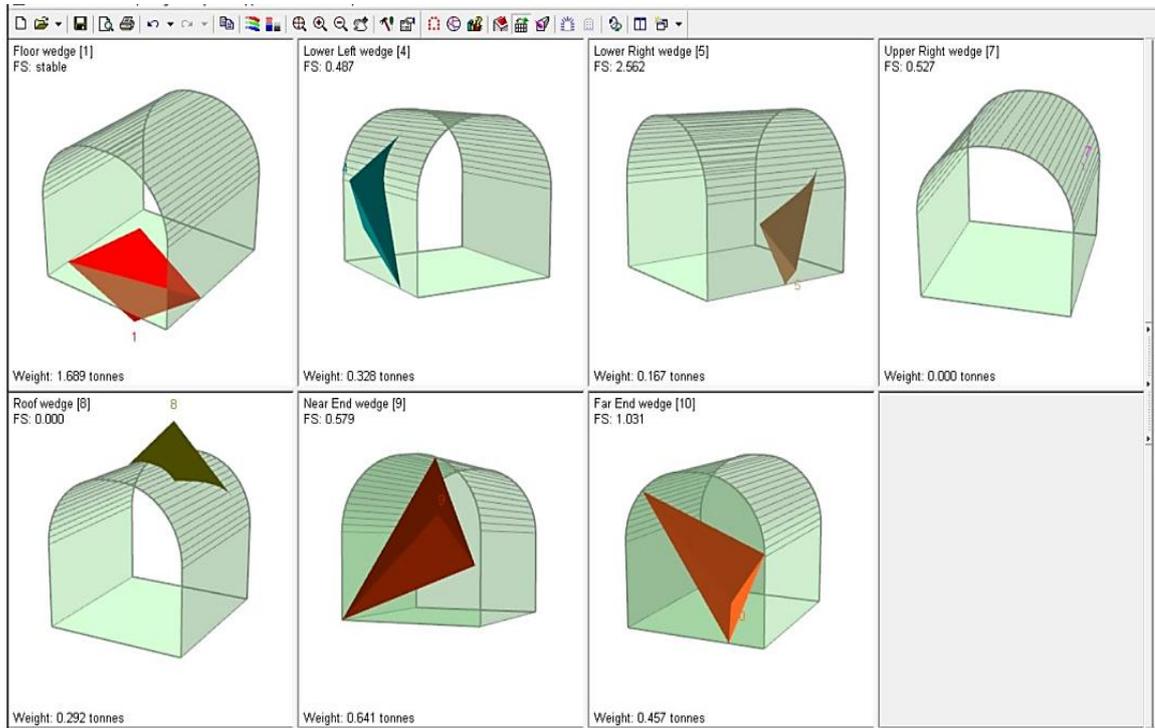


Figura 44

Estereografía de cuñas en By Pass 815 NE Unidad Minera Las Águilas

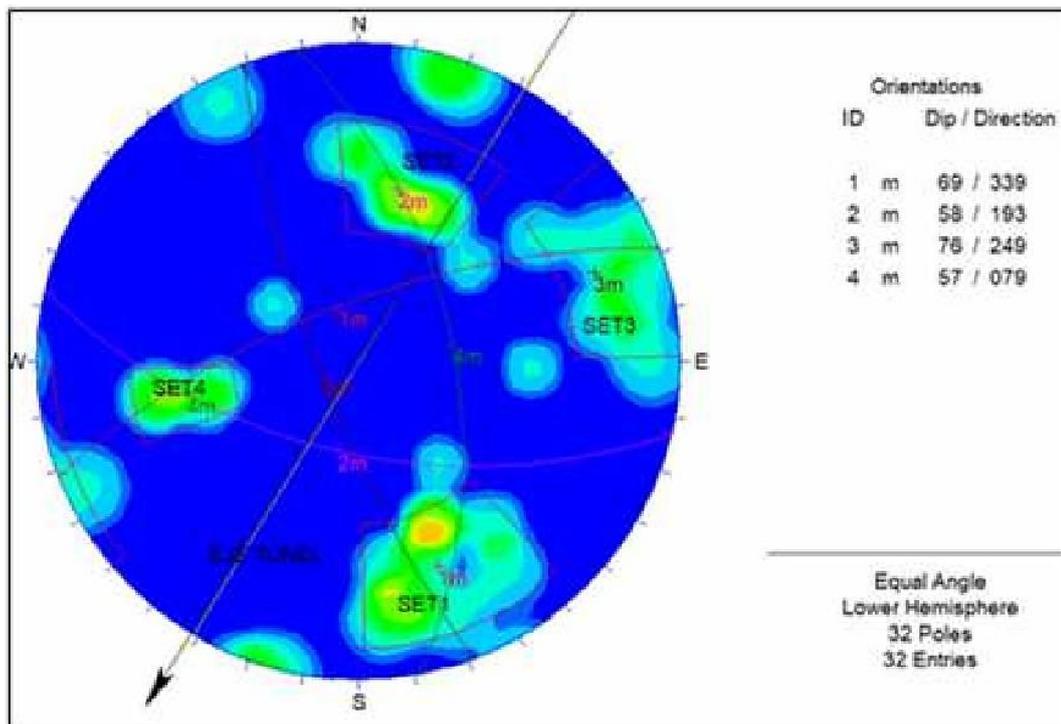


Figura 45

Capacitación de correcta instalación de los elementos de sostenimiento



Figura 46

Capacitaciones de correcta instalación de los elementos de sostenimiento



Figura 47

Evaluación de malla electrosoldada



Figura 48

Pruebas con el equipo torquímetro a la malla electrosoldada



Figura 49

Resultados de las pruebas de arranque de los pernos Split Set de 5 pies

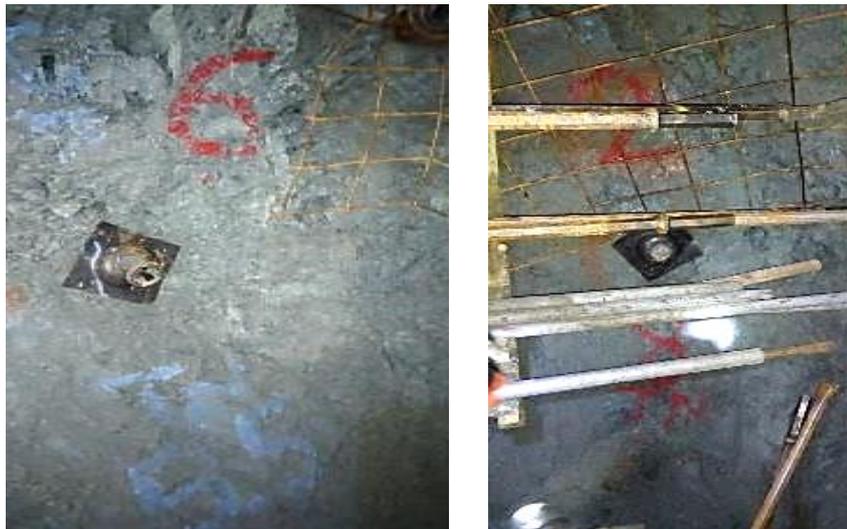
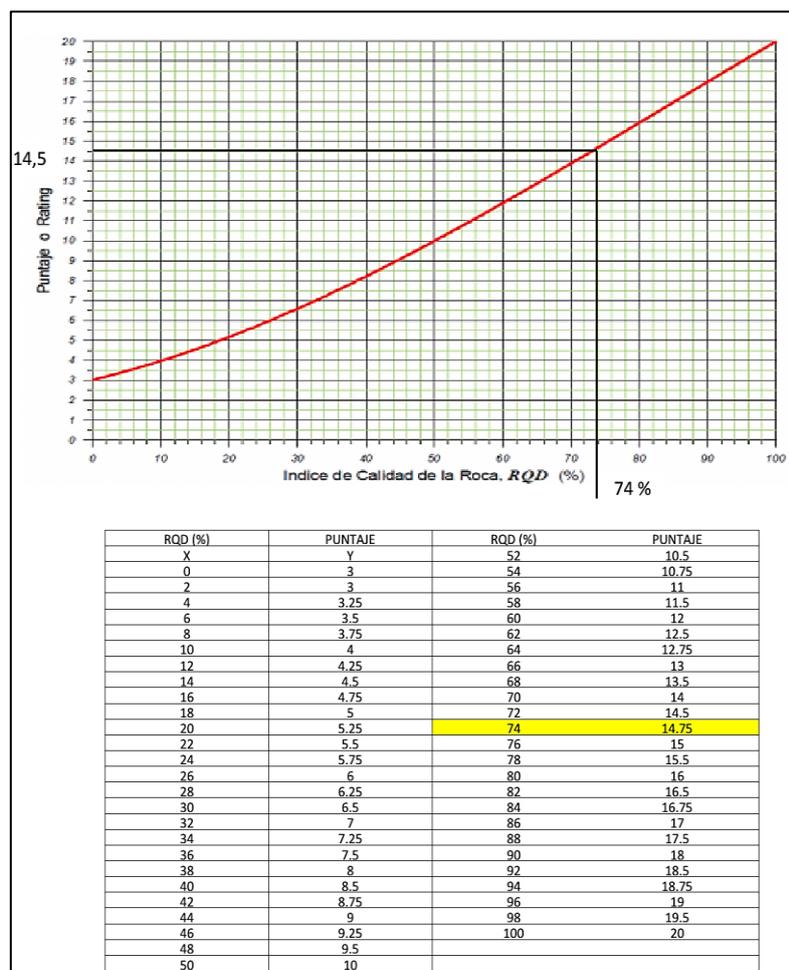


Figura 50

Cálculo de RQD con Ábaco de Bieniawski 1989 de GEOCONTROL



Nota. Errores en la aplicación de las clasificaciones geomecánicas y su corrección-
GEOCONTROL 2011

Figura 51

Estabilizadores de fricción Split set. FORMIN



Av. Argentina N° 751
Lima – Lima

(511) 330 – 8915
(511) 423 - 7800

ventas@formin.com.pe
formin.com.pe/

ESTABILIZADORES DE FRICCIÓN SPLIT SET

DESCRIPCIÓN

El Estabilizador de Fricción Split Set, es un tubo de acero ranurado, con un extremo cónico para facilitar su inserción en un taladro, al extremo tiene un anillo soldado para sostener la placa de apoyo.



Estabilizador de fricción

Al momento de ser insertado ejerce fuerzas radiales a lo largo de la longitud de contacto con la roca, aumentando de esta manera la competitividad del macizo.

VENTAJAS

- Fácil instalación con mallas.
- No requiere torque ni aditivos.
- Bajo Costo.
- Refuerzo inmediato después de su instalación.

NORMAS TÉCNICAS Y PROPIEDADES MECÁNICAS

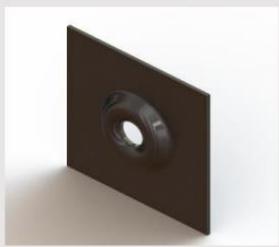
- Según Norma ASTM –A1011.
- Según Norma ASTM –A36.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

| | |
|---------------------------------|--------------------------------------|
| Diámetro exterior (mm) | 39.5 a 42 |
| Longitud (pies) | 1 a 10 |
| Espesor (mm) | 2.3 a 2.5 |
| Capacidad de anclaje (Ton/pie) | 1 a 1.2 |
| Placa de sujeción | ASTM A-36 150x150x4.0 (Ø41.5 a 43.5) |
| Grado de acero | ASTM – 607 60 |
| Resistencia a la fluencia (Mpa) | 450 |
| Resistencia a la tensión (Mpa) | 561 |
| Elongación | 16% |

PLACA DE SUJECIÓN

- Placa de acero estructural perforada, por la cual se desplaza el perno Split Set.
- Actúa como base para el posicionamiento del Split Set.
- Placa de sujeción con domo semiesférico.
- Se comercializa en diámetro de 42.5mm.



Placa de sujeción

Nota. FORMIN – PERÚ.