

**UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRION**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS**  
**ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS**



**T E S I S**

**Evaluación Geomecánica para determinar el tipo de sostenimiento  
de la cámara para el Winche de producción del Nv. 720 en la Unidad  
Económica Yauricocha**

**Para optar el título profesional de:**

**Ingeniero de Minas**

**Autor:**

**Bach. Midler Jhon ESPINOZA VARILLAS**

**Asesor:**

**Dr. Agustín Arturo AGUIRRE ADAUTO**

**Cerro de Pasco – Perú – 2023**



**UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRION**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS**  
**ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS**



**T E S I S**

**Evaluación Geomecánica para determinar el tipo de sostenimiento  
de la cámara para el Winche de producción del Nv. 720 en la Unidad  
Económica Yauricocha**

**Sustentada y aprobada ante los miembros del jurado:**

---

**Mg. Floro Pagel ZENTENO GOMEZ**  
**PRESIDENTE**

---

**Mg. Vicente César DAVILA CORDOVA**  
**MIEMBRO**

---

**Mg. Luis Alfonso UGARTE GUILLERMO**  
**MIEMBRO**

## **DEDICATORIA**

A mi madre Matilde Raquel Varillas Haro, por su apoyo y esfuerzo incondicional que me brindó a lo largo de mi formación profesional.

## **AGRADECIMIENTO**

En primer lugar y ante todo, agradezco infinitamente a Dios, por la bendición que derrama sobre nuestras familias, por su inmenso amor que nos da y por ser mi fortaleza en los momentos más difíciles de mi vida.

Mi agradecimiento y mi gratitud a los representantes de la Empresa Deep Concept Mining S.A. y al departamento de Proyectos de la unidad de Yauricocha, por darme la gran oportunidad de trabajar junto a ellos.

Expreso también mi gratitud a la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, Facultad de Ingeniería de Minas y profesores, que durante mi permanencia universitaria me brindaron conocimiento que fortalecieron mi formación profesional.

***Midler Jhon E.V.***

## RESUMEN

El presente proyecto de investigación aborda el planteamiento del problema sobre: ¿Cómo influye la evaluación geomecánica para determinar el tipo de sostenimiento de la Cámara para el Winche de Producción del Nv. 720, en la unidad económica Yauricocha?, cuyo objetivo general fue determinar cómo influye la evaluación geomecánica en el sostenimiento de la Cámara para el Winche de Producción del Nv. 720, en la unidad económica Yauricocha, para luego desarrollar la hipótesis general: La evaluación geomecánica influye verdaderamente para determinar el tipo de sostenimiento de la Cámara para el Winche de Producción del Nv. 720, en la unidad económica Yauricocha.

El tipo de investigación se orienta a una investigación del tipo descriptivo, donde se describe las características geomecánicas de la roca para obtener la calidad de la misma y correlacional, porque mide la relación entre calidad de la roca y la estabilidad de las excavaciones; el nivel de investigación es descriptivo y explicativo no experimental por qué se ha basado en conceptos, categorías, sucesos ocurridos; siendo el método de investigación el científico y como diseño de investigación el no experimental-transeccional; la población estuvo constituida por las labores de Sociedad Minera corona S.A.- Unidad Yauricocha y la muestra fue la Cámara para el Winche de Producción del Pique Yauricocha que se ubica en el Nv. 720.

Como conclusión se determinó que según la evaluación geomecánica, la Cámara Winche, esta presenta una calidad predominante regular B (RMR 49) y según el índice de Q de Barton es de 1.35, el macizo rocoso está compuesto de una caliza de resistencia regular (60-80 MPa), con 03 sistemas de discontinuidades, con ángulos de buzamiento que varían entre los 50° - 85°. El índice GSI es Muy Fracturado (MF)/ Regular(R). El sostenimiento recomendado según la cartilla GSI es Perno Helicoidal Sistemático 7' + Malla electrosoldada 1.0 m x 1.0 m o 1.2 m x 1.2 m. Para usar el índice Q y determinar el tipo de soporte de la infraestructura de la Cámara para el Winche de

Producción se ha determinado que esta pertenece a una categoría de excavación F siendo el ESR 0.8.

Por lo tanto se determinó que el sistema de sostenimiento de la Cámara para el Winche de Producción sería: Perno Helicoidal Sistemático 7' + Malla electrosoldada distribuidas a 1.2 m x 0.85 m. Para una abertura de 16.6 m de ancho por 21.0 m de largo por 9.6 m de altura, se requiere Cables Bolting de 7.0 m con diámetro de Ø15.24 mm espaciados a 1.5 m X 1.5 m + Shotcrete de 4" con 35 kg Fibra/m<sup>3</sup>.

**Palabra clave:** Evaluación geomecánica, sostenimiento.

## ABSTRACT

This research project addresses the approach to the problem on: How does the geomechanical evaluation influence to determine the type of support of the Chamber for the Production Winch of Lv. 720, in the Yauricocha? economic unit, whose general objective was to determine how the geomechanical evaluation influences the support of the Chamber for the Production Winch of Lv. 720, in the Yauricocha economic unit, to later develop the general hypothesis: The geomechanical evaluation really influences to determine the type of support of the Chamber for the Production Winch of Lv. 720, in the Yauricocha economic unit.

The type of investigation is oriented towards a descriptive investigation, where the geomechanical characteristics of the rock are described to obtain its quality and correlational, because it measures the relationship between the quality of the rock and the stability of the excavations; the research level is descriptive and explanatory, not experimental, because it has been based on concepts, categories, events that occurred; being the scientific research method and the non-experimental-transectional research design; The population was constituted by the works of Sociedad Minera Corona S.A.- Yauricocha Unit and the sample was the Chamber for the Production Winch of the Yauricocha Pique that is located at Nv. 720.

As a conclusion, it was determined that according to the geomechanical evaluation, the Winche Chamber, this presents a predominantly regular quality B (RMR 49) and according to the Barton Q index is 1.35, the rock massif is composed of a regular resistance limestone (60 -80 MPa), with 03 discontinuity systems, with dip angles that vary between 50° - 85°. The GSI index is Very Fractured (MF)/ Regular(R). The recommended support according to the GSI chart is 7' Systematic Helical Bolt + 1.0 m x 1.0 m or 1.2 m x 1.2 m electro-welded mesh. To use the Q index and determine the type of support of the infrastructure of the Chamber for the Production Winch, it has been determined that it belongs to an excavation category F, with an ESR of 0.8.

Therefore, it was determined that the support system of the Chamber for the Production Winch would be: 7' Systematic Helical Bolt + Electro-welded mesh distributed at 1.2 m x 0.85 m. For an opening of 16.6 m wide by 21.0 m long by 9.6 m high, 7.0 m Bolting Cables with a diameter of Ø15.24 mm spaced at 1.5 m X 1.5 m + 4" Shotcrete with 35 kg Fiber/m<sup>3</sup> are required.

**Key word:** Geomechanical evaluation, support.

## INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación denominada “Evaluación Geomecánica para determinar el tipo de sostenimiento de la Cámara para el Winche de Producción del Nv. 720 en la unidad económica Yauricocha, 2019”, se fundamenta en que el macizo rocoso es inestable en interior mina y más aún cuando el método de explotación por Sub Level Caving que desarrolla Sociedad Minera Corona lo haga más inestable, por cuanto este método crea subsidencia en el área explotada, haciendo que las excavaciones sean zonas de alto riesgo para el personal por atrapamiento de tierra, agua y lodo, a lo que denominan como “soplo” (avalancha de tierra, agua, lodo de forma intempestiva).

En la minería el índice GSI, los sistemas Q, RMR son parámetros para muchos métodos de diseño en la industria minera, con el fin de representar con un valor las propiedades del macizo rocoso y determinar el tipo de sostenimiento.

Las clasificaciones geomecánicas fueron hechas con el fin de cuantificar previamente las características del macizo rocoso para la estimación del sostenimiento de túneles para que posteriormente se usen para evaluar las propiedades del macizo rocoso. Ciertamente el sostenimiento en excavaciones subterráneas es para controlar y mantener estable la excavación con el fin de proporcionar zonas seguras de trabajo y brindar acceso a las diferentes labores mineras. Los diferentes tipos de sostenimiento que se tuvo en consideración fueron Split Set, Pernos Helicoidal, Shotcrete y Cable Bolting según la evaluación de geomecánica de la Cámara Winche.

Entre otros aspectos, el presente trabajo de tesis consiste en los capítulos siguientes:

En el Capítulo I, se expone la identificación y determinación del problema, la delimitación de la investigación, la formulación del problema tanto principal como específicos, también se plantea la formulación de objetivos general y específicos, demostrando la justificación de la investigación así como las limitaciones de la investigación.

En el Capítulo II, comprende el marco teórico, sus antecedentes, detallando las bases teórico-científico que sustenta la investigación, la formulación de la hipótesis general y específicos, la identificación de variables, definición de términos básicos y la definición operacional de variables e indicadores

El capítulo III, trata sobre la metodología y técnica de investigación, que comprende; el tipo y nivel de investigación, método de investigación, diseño de investigación, población y muestra, técnicas e instrumentos de recolección de datos, tratamiento estadístico y la orientación ética.

En el capítulo IV, se expone los resultados y discusión, donde se detalla la descripción del trabajo de campo, se describe la presentación, análisis e interpretación de resultados, se expone la prueba de hipótesis y se describe la discusión de resultados.

Finalmente se ofrecen las conclusiones, recomendaciones correspondientes, las referencias bibliográficas y anexos.

## ÍNDICE

|                |  |
|----------------|--|
| DEDICATORIA    |  |
| AGRADECIMIENTO |  |
| RESUMEN        |  |
| ABSTRACT       |  |
| INTRODUCCIÓN   |  |
| ÍNDICE         |  |

### CAPÍTULO I

#### PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

|      |   |    |
|------|---|----|
| 1.1. | Identificación y determinación del problema ..... | 1  |
| 1.2. | Delimitación de la investigación .....            | 2  |
| 1.3. | Formulación del problema .....                    | 15 |
|      | 1.3.1. Problema general .....                     | 15 |
|      | 1.3.2. Problemas específicos .....                | 15 |
| 1.4. | Formulación de objetivos .....                    | 15 |
|      | 1.4.1. Objetivo general .....                     | 15 |
|      | 1.4.2. Objetivos específicos .....                | 15 |
| 1.5. | Justificación de la investigación .....           | 15 |
| 1.6. | Limitaciones de la investigación .....            | 16 |

### CAPÍTULO II

#### MARCO TEÓRICO

|      |                                      |    |
|------|--------------------------------------|----|
| 2.1. | Antecedentes de estudio .....        | 17 |
| 2.2. | Bases teóricas-científicas .....     | 22 |
| 2.3. | Definición de términos básicos ..... | 44 |
| 2.4. | Formulación de Hipótesis .....       | 46 |
|      | 2.4.1. Hipótesis General .....       | 46 |
|      | 2.4.2. Hipótesis Específica .....    | 46 |
| 2.5. | Identificación de Variables .....    | 46 |

|      |  |    |
|------|--|----|
| 2.6. | Definición Operacional de variables e indicadores..... | 47 |
|------|--|----|

### **CAPÍTULO III**

#### **METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN**

|      |  |    |
|------|--|----|
| 3.1. | Tipo de investigación .....                          | 49 |
| 3.2. | Nivel de investigación .....                         | 49 |
| 3.3. | Método de investigación .....                        | 49 |
| 3.4. | Diseño de investigación.....                         | 49 |
| 3.5. | Población y muestra .....                            | 49 |
| 3.6. | Técnicas e instrumentos de recolección de datos..... | 50 |
| 3.7. | Técnicas de procesamiento y análisis de datos .....  | 50 |
| 3.8. | Tratamiento estadístico .....                        | 51 |
| 3.9. | Orientación ética filosófica y epistémica .....      | 51 |

### **CAPÍTULO IV**

#### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

|      |   |     |
|------|---|-----|
| 4.1. | Descripción del trabajo de Campo .....                      | 52  |
| 4.2. | Presentación, análisis e interpretación de resultados ..... | 59  |
| 4.3. | Prueba de Hipótesis .....                                   | 86  |
| 4.4. | Discusión de Resultados .....                               | 104 |

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEXOS

## ÍNDICE DE CUADROS

|   |    |
|---|----|
| CUADRO N° 1: Interpretación de los valores de RMR de Bieniawski, 1989.....  | 24 |
| CUADRO N° 2: Resistencia compresiva uniaxial .....                          | 24 |
| CUADRO N° 3: Interpretación del índice Q de Barton 1974.....                | 25 |
| CUADRO N° 4: Definición operacional de Variables e Indicadores.....         | 48 |
| CUADRO N° 5: Propiedades de resistencia de la Caliza .....                  | 59 |
| CUADRO N° 6: Esfuerzo vertical en la Cámara Winche .....                    | 60 |
| CUADRO N° 7: Esfuerzo horizontal en la Cámara Winche .....                  | 60 |
| CUADRO N° 8: Resistencia uniaxial de la matriz rocosa .....                 | 61 |
| CUADRO N° 9: Características del macizo rocoso de la Cámara Winche .....    | 62 |
| CUADRO N° 10: Índice de Calidad de la Roca RQD .....                        | 63 |
| CUADRO N° 11: Espaciado de las juntas .....                                 | 63 |
| CUADRO N° 12: Descripción según la persistencia.....                        | 64 |
| CUADRO N° 13: Descripción según la apertura .....                           | 64 |
| CUADRO N° 14: Descripción según la rugosidad .....                          | 64 |
| CUADRO N° 15: Descripción según el relleno .....                            | 65 |
| CUADRO N° 16: Descripción según la intemperización.....                     | 65 |
| CUADRO N° 17: Descripción según la presencia de agua.....                   | 66 |
| CUADRO N° 18: Descripción según la orientación de las discontinuidades..... | 66 |
| CUADRO N° 19: Valores según la orientación de las discontinuidades .....    | 66 |
| CUADRO N° 20: Calculo del RMR para la Cámara Winche.....                    | 68 |
| CUADRO N° 21: Tabla Geomecánica RMR y sostenimiento aplicable .....         | 72 |
| CUADRO N° 22: Número de familias de discontinuidades $J_n$ .....            | 73 |
| CUADRO N° 23: Rugosidad de las discontinuidades $J_r$ .....                 | 73 |
| CUADRO N° 24: Alteración de las discontinuidades $J_a$ .....                | 74 |
| CUADRO N° 25: Agua en la juntas $J_w$ .....                                 | 75 |
| CUADRO N° 26: Tensiones en la excavación SRF.....                           | 75 |

|  |    |
|--|----|
| CUADRO N° 27: Intervalos de valores del RMR y Q para categorías similares de los macizos rocosos ..... | 77 |
| CUADRO N° 28: Relación de Sostenimiento de Excavación (ESR) .....                                      | 77 |
| CUADRO N° 29: Sostenimiento según el ESR .....   | 80 |

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

|   |    |
|---|----|
| Gráfico N° 1: Ubicación de la Mina Yauricocha.....  | 3  |
| Gráfico N° 2: Plano Geológico de la Mina Yauricocha .....   | 7  |
| Gráfico N° 3: Índice de resistencia geológica (GSI) de Hoek y Marinos .....                             | 26 |
| Gráfico N° 4: Ratio del esfuerzo horizontal y vertical para diferentes Módulos de Elasticidad (Eh)..... | 29 |
| Gráfico N° 5: Voladura controlada en túneles .....  | 31 |
| Gráfico N° 6: Especificaciones del Split Set .....  | 33 |
| Gráfico N° 7: Forma correcta de instalar un perno Split Set.....  | 34 |
| Gráfico N° 8: Perno Helicoidal en zonas húmedas.....  | 35 |
| Gráfico N° 9: Perno Helicoidal en zonas con goteo.....  | 36 |
| Gráfico N° 10: Perno Helicoidal en zonas con goteo permanente .....                                     | 36 |
| Gráfico N° 11: Capacidad de la malla metálica para retener rocas sueltas entre pernos .....             | 37 |
| Gráfico N° 12: Posición correcta para el lanzado de Shotcrete .....                                     | 39 |
| Gráfico N° 13: Métodos de inyección de cables Bolting .....   | 40 |
| Gráfico N° 14: Configuración de cables Bolting.....   | 40 |
| Gráfico N° 15: Tambora en Winche de Servicios-Yauricocha .....  | 41 |
| Gráfico N° 16: Motor en Winche de Servicios-Yauricocha.....   | 42 |
| Gráfico N° 17: Cabina de control en Winche de Servicios-Yauricocha .....                                | 43 |
| Gráfico N° 18: Polea en Winche de Producción- Yauricocha .....  | 44 |
| Gráfico N° 19: Método de explotación Sub Level Caving .....   | 53 |
| Gráfico N° 20: Ubicación de la Cámara Winche de Producción .....  | 54 |
| Gráfico N° 21: Diseño de la Cámara Winche Sección A-A Lado Norte.....                                   | 55 |
| Gráfico N° 22: Diseño de la Cámara Winche sección B-B Lado Este.....                                    | 55 |
| Gráfico N° 23: Diseño de la Cámara Winche sección C-C Lado Sur.....                                     | 56 |
| Gráfico N° 24: Diagrama estereográfico de los sistemas principales de estructuras ..                    | 57 |

|   |    |
|---|----|
| Gráfico N° 25: Diagrama estereográfico de planos de los sistemas principales de estructuras.....  | 58 |
| Gráfico N° 26: Diagrama de roseta de los sistemas principales de estructuras.....   | 58 |
| Gráfico N° 27: Variación de la resistencia del macizo rocoso en relación entre la resistencia a compresión y el espaciado de las juntas ..... | 63 |
| Gráfico N° 28: Condiciones de estabilidad por dirección de avance.....  | 67 |
| Gráfico N° 29: GSI según la descripción geológica-Sociedad Minera Corona.....   | 70 |
| Gráfico N° 30: GSI y recomendación de sostenimiento-Sociedad Minera Corona.....   | 71 |
| Gráfico N° 31: Categoría de Sostenimiento para el ancho de 16.6 m .....   | 78 |
| Gráfico N° 32: Categoría de Sostenimiento para span de 21.9 m .....   | 79 |
| Gráfico N° 33: Categoría de Sostenimiento para el span de 9.6 m .....   | 79 |
| Gráfico N° 34: Distribución de esfuerzo para Cable Bolting .....  | 81 |
| Gráfico N° 35: Distribución de factores de resistencia alrededor de la Cámara Winche valor de k de 0.51 .....                                 | 82 |
| Gráfico N° 36: Distribución de factores de resistencia para el valor 1 de constante k   | 82 |
| Gráfico N° 37: Análisis plástico sin sostenimiento y con sostenimiento para valor de k igual a 0.51 .....                                     | 83 |
| Gráfico N° 38: Análisis plástico sin sostenimiento y con sostenimiento para valor de k igual a 1 .....  | 84 |
| Gráfico N° 39: Modelamiento de la Cámara para el Winche de Producción.....  | 85 |
| Gráfico N° 40: División en zonas para la excavación de la Cámara para el Winche...  | 89 |
| Gráfico N° 41: Secuencia de avance en la Cámara para el Winche de Producción ...  | 89 |
| Gráfico N° 42: Formación de cuñas en el techo y paredes utilizando el programa Unwedge .....  | 94 |
| Gráfico N° 43: Estabilización de cuñas en el techo y paredes utilizando pernos cementados .....   | 94 |
| Gráfico N° 44: Vista en planta de la secuencia de avances de la etapa II – Banqueo  | 96 |
| Gráfico N° 45: Vista en perfil de la secuencia de avances de la etapa II – Banqueo ..   | 96 |

|   |     |
|---|-----|
| Gráfico N° 46: Excavación de los bloques 2 al 5 / Generación de los bloques 14 al 17 /<br>Altura final de la excavación ..... | 98  |
| Gráfico N° 47: Resultados del análisis por el MGE en el techo .....   | 100 |
| Gráfico N° 48: Resultados del análisis por el MGE en la pared NW (paralelo al eje)  | 100 |
| Gráfico N° 49: Resultados del análisis por el MGE en la pared NE (perpendicular al eje)<br>.....                              | 101 |
| Gráfico N° 50: Distribución en las paredes finales de los cables Bolting por 7.0m /<br>Distribución bloque a bloque.....      | 102 |
| Gráfico N° 51: Distribución en las paredes finales de los cables Bolting por 7.0m ...   | 103 |
| Gráfico N° 52: Cantidad total de Cable Bolting utilizado.....   | 104 |

## **CAPÍTULO I**

### **PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

#### **1.1. Identificación y determinación del problema**

El Sub Level Caving es un método de explotación por hundimiento del mineral que desarrolla Sociedad Minera Corona, creando subsidencia alrededor del área explotada, lo que conlleva que el riesgo principal que sufre el personal en interior mina, es el atrapamiento por movimientos de tierra, agua, lodo, lo que denominan como “soplo”.

Frente a esta problemática, Sociedad Minera Corona S.A. (SMCSA), está ejecutando el proyecto de profundización del pique Yauricocha, que actualmente profundiza sus operaciones hasta el Nv. 1106, previéndose que a futuro pueda profundizar hasta el Nv. 1470. En esta etapa también contempla la construcción de la Cámara para el Winche de Producción ubicado en el Nv 720, con la finalidad que a futuro los trabajos de izaje puedan estar alejados de la zona de la subsidencia que se presenta al interior de la mina, y así se logre la seguridad del personal; asimismo, se centralice el sistema de izaje en un solo pique, reduciéndose de esta manera el costo de izaje.

Por lo tanto, el problema actual es determinar el tipo de sostenimiento de la Cámara para el Winche de Producción según la evaluación geomecánica

que permita la estabilidad de la misma, cuyas dimensiones de diseño son 16.6 mts (ancho) x 21.9 mts (largo) x 9.6 mts (altura).

## **1.2. Delimitación de la investigación**

Entre la delimitación espacial, este proyecto se desarrolla en la minera Sociedad Minera Corona S.A.-unidad Yauricocha y entre la delimitación conceptual, esta investigación define conceptos sobre evaluación geomecánica, perforación, voladura y sostenimiento.

### **1.2.1. Ubicación política de la mina Yauricocha**

La mina Yauricocha políticamente está ubicada en el Distrito de Alis, Provincia de Yauyos, Departamento de Lima, aproximadamente a 12 Km al oeste de la Divisoria Continental y a 60 Km al sur de la estación Pachacayo del FFCC, localizada geográficamente en la zona alta de la cordillera Occidental Andina, muy cerca de la línea Divisoria Continental, en las nacientes de uno de los afluentes del río Cañete, el que desemboca al Océano Pacífico (Departamento de Geología-Sociedad Minera Corona S.A., 2019).

### **1.2.2. Ubicación geográfica**

Su ubicación geográfica está definida por las siguientes coordenadas UTM promedio, N: 8'639,000 y E: 422,000, y a una altitud promedio de 4 600 m.s.n.m.

Gráfico N° 1: Ubicación de la Mina Yauricocha



Fuente: Google Maps. URL: <https://www.google.com/maps/place/Mina+Yauricocha/@-12.1769034,-75.5215503,11z/data=!4m6!3m5!1s0x910efde574cd78cb:0x6c9bd4b072296094!8m2!3d-12.3105636!4d-75.7077063!16s%2Fg%2F11hyzz11c9>

### 1.2.3. Accesibilidad

Las principales vías de acceso a la mina Yauricocha, son por la carretera central Lima - Huancayo - Yauricocha, con 420 Km de distancia, la vía es asfaltada de Lima a Huancayo - Chupaca, de Chupaca hasta la Mina Yauricocha es carretera afirmada. Otra vía importante es por la panamericana sur Lima - Cañete - Yauricocha, por el valle del río Cañete con una distancia de 370 Km la vía esta asfaltada de Lima a Pacarán y de Pacarán a la mina Yauricocha es carretera afirmada. (Departamento de Geología-Sociedad Minera Corona S.A., 2019).

## **1.2.4. Geología Regional**

### **1.2.4.1. Estratigrafía**

La siguiente es la columna estratigráfica simplificada del área de la mina:

CUATERNARIO: Deposito glaciares

TERCIARIO: Intrusivos (complejos granodiorita monzonita)

TERCIARIO: Capas rojas Casapalca

CRETACEO SUPERIOR: Formación Celendín (France-chert)

CRETACEO MEDIO: Caliza Jumasha

CRETACEO INFERIOR: Formación Goyllarisquizga

### **1.2.4.2. Formación Goyllarisquizga**

Las rocas más antiguas expuestas en el área son las areniscas de la formación Goyllarisquizga del Cretáceo inferior. Este grupo de aproximadamente 300 m de espesor está constituido por areniscas gruesas blancas a grises, localmente bandeadas con lutitas carbonáceas así como pequeños mantos de carbón de mala calidad y arcilla. En las cercanías de Chaucha, estas areniscas presentan intercalaciones de lutitas rojas en la base, las areniscas afloran en los núcleos de los anticlinales al SW de Yauricocha y como capas dispersas a lo largo de la “zona revuelta de chacras” así como en afloramientos asilados en la zona de Éxito (Departamento de Geología-Sociedad Minera Corona S.A., 2019).

### **1.2.4.3. Formación Jumasha**

Concordante sobre la formación Goyllarisquizga, se encuentra la formación Jumasha del Cretáceo Medio. Esta formación con espesor promedio de 700 m consistente de caliza masiva de color gris claro. En la base, cerca al contacto con las areniscas, incluye discontinuos de calizas marrones y grises, ocasionalmente con horizontes lutáceos y

silíceos de unos 6 m de espesor (Departamento de Geología-Sociedad Minera Corona S.A., 2019).

También están presentes pseudobrechas de probable origen sedimentario y un sill de basalto.

#### **1.2.4.4. Formación Celendín**

Sobreyaciendo concordantemente a las calizas Jumasha se encuentra la formación Celendín, formada por lutitas silicificadas finamente estratificada con intercalaciones de caliza recristalizada de edad Santoniana. Su espesor promedio, en el área de Yauricocha, es de 400 metros. A esta unidad que anteriormente se le consideraba como estratos inferiores de las capas rojas Casapalca, localmente se le ha dominado France Chert (Departamento de Geología-Sociedad Minera Corona S.A., 2019).

#### **1.2.4.5. Capas Rojas Casapalca**

Esta formación sobreyace concordantemente a la formación Celendín siendo su contacto gradacional. Se le ha asignado una edad entre el Cretáceo Superior y el Terciario Inferior, ya que la ausencia de fósiles no permite datarla con exactitud. Está constituida principalmente por lutitas rojas calcáreas, calizas puras y calizas arenosas rojizas, ocasionalmente se ha reportado la presencia de flujos de lava y capas tufáceas (Departamento de Geología-Sociedad Minera Corona S.A., 2019).

#### **1.2.4.6. Intrusivos**

La actividad intrusiva se desarrolló mayormente en el mioceno. Las edades determinadas mediante el método Ar-K en biotitas de muestras tomadas en el área de Yauricocha y Éxito, dan un promedio de 5.9 millones de años (Giletti 1968).

Los intrusivos presentan contactos definidos y de gran ángulo con los sedimentos, así como una neta tendencia a seguir el rumbo regional y plano de estratificación (Departamento de Geología-Sociedad Minera Corona S.A., 2019).

Los intrusivos varían gradualmente en tamaño, desde cuerpos de unos cuantos cientos de metros cuadrados hasta grandes masas que han cubierto kilómetros cuadrados. Es común la ocurrencia de apófisis pequeños en los bordes de los intrusivos mayores (Departamento de Geología-Sociedad Minera Corona S.A., 2019).

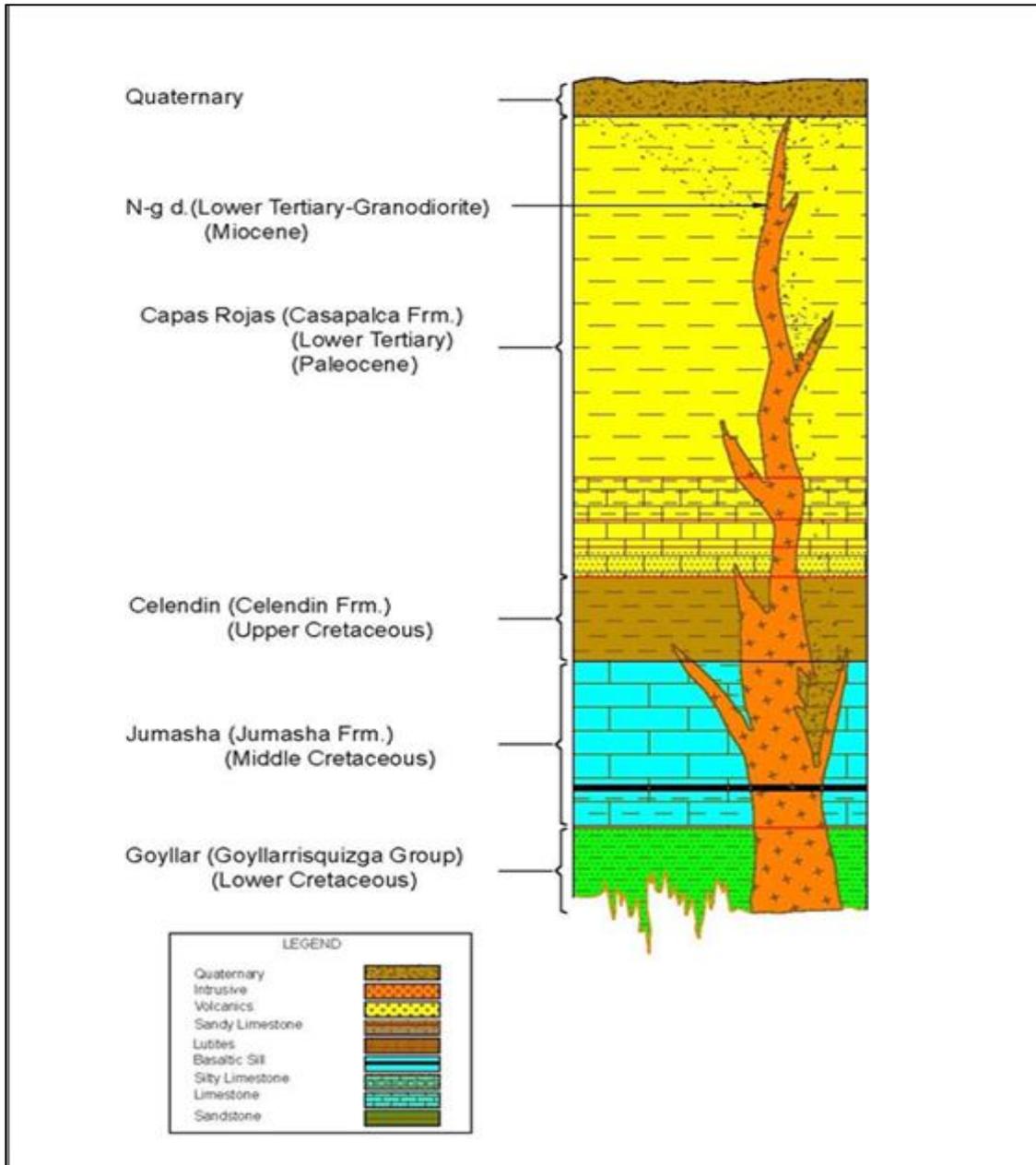
Su composición varía de granodiorita a cuarzo-monzonita en los bordes, observándose macroscópicamente plagioclasas, ortosa, biotita, horblenda y cuarzo (Departamento de Geología-Sociedad Minera Corona S.A., 2019).

Las plagioclasas, fluctúan desde oligoclasa hasta andesina, presentando comúnmente textura profirítica (Departamento de Geología-Sociedad Minera Corona S.A., 2019).

#### **1.2.5. Metamorfismo**

Todas las masas intrusivas han producido aureolas de metamorfismo en las rocas encajonantes; la extensión, tipo y grado de metamorfismo varia gradualmente con los diferentes tipos de roca. Las rocas se convierten en cuarcitas, lutitas hornfésicas y calizas recristalizadas. Las aureolas metamórficas que rodean las intrusiones son de diferentes extensiones. El blanqueamiento de las lutitas se extiende más allá de la zona de los silicatos cálcicos: mientras que las calizas Jumasha son recristalizados y blanqueados por distancias bien cortas (Departamento de Geología-Sociedad Minera Corona S.A., 2019).

Gráfico N° 2: Plano Geológico de la Mina Yauricocha



|           |  |                    |
|-----------|--|--------------------|
|           | <b>SOCIEDAD MINERA CORONA S.A. - Unidad Yauricocha</b> |                    |
|           | Geología: V.R.V.                                       | Escala: 1/2000     |
|           | CAD: Dpto. Ingeniería                                  | Fecha: Marzo -2019 |
| Aprobado: | <b>Columna Estratigráfica<br/>YAURICOCHA</b>           | Revisiones:        |

Fuente: (Departamento de Geología-Sociedad Minera Corona S.A., 2019)

Localmente las emanaciones que escaparon del intrusivo han provocado en ciertos casos zonas angostas de 1,00 m a 3,00 m de skarn y otros de 30,00 m a 50,00 m las que realmente son parte integral de la intrusión, siendo en este caso intrusivos contaminados en vez de caliza alterada. En estas zonas de skarn se han desarrollado epidota, zoisita, tremolita, wollastonita, flogopita,

granate, clorita y diópsido (Departamento de Geología-Sociedad Minera Corona S.A., 2019).

#### **1.2.6. Geología Estructural**

Como consecuencia de los esfuerzos tectónicos, que dieron lugar al levantamiento de la Cordillera de los Andes, la estructura local de rumbo general NW-SE está conformada principalmente de:

- **Pliegues**

Varios pliegues conforman las estructuras principales del área de Yauricocha: anticlinal Purísima Concepción y Sinclinal France Cherten, la Mina Central, Anticlinal Cachi y Sinclinal Huamanripa al Norte y Sinclinal Quimpara inmediatamente al Sur de la laguna Pumacocha, norte de la Mina San Valentín (Departamento de Geología-Sociedad Minera Corona S.A., 2019).

El anticlinal Purísima Concepción, que se encuentra al SW de la mina de Yauricocha, es una estructura local apretada, bien marcada y definida por un sill de basalto de 17 m de espesor. El "trend" de su eje es aproximadamente N 50° W con suave "plunge" de 20° al SE. En el eje de este anticlinal y hacia el Flanco F del Sill de Basalto existe ocurrencia de oro diseminado en brechas silíceas y horizontes silicificados. El sinclinal France Chert, ubicado al NE de la mina, es un pliegue igualmente apretado con el "trend" de su eje que cambia de N 35° W (en el S) a N 65° W (en el N) y suave "plunge" de 40° al SE. En el flanco occidental de este pliegue y en calizas bandeadas sin plegamiento subsidiario, se encuentra el depósito mineral de Yauricocha (Departamento de Geología-Sociedad Minera Corona S.A., 2019).

En el área de la mina central, el rumbo NW de los sedimentos plegados, fue rolado por esfuerzos horizontales, un ángulo de 30° en el sentido al movimiento de agujas del reloj. Esta distorsión del plegamiento puede

haberse producido por una falla de desgarramiento del basamento de rumbo NE-SW (Departamento de Geología-Sociedad Minera Corona S.A., 2019).

El Sinclinal Quimpara inmediatamente 1 Km al sur del desagüe de la laguna Pumacocha tiene un eje con rumbo N 45° W, su flanco Este descansando sobre el intrusivo con ángulo de 70° a 75° al W y el flanco Oeste con aproximadamente 80° E conformada por paquetes calcáreos gris oscuros, recristalizados en la proximidad al contacto y ocurrencia de un afloramiento de granates, magnetita y óxidos de cobre en el mismo contacto (Departamento de Geología-Sociedad Minera Corona S.A., 2019).

- **Fracturas**

Los esfuerzos ocurridos en varias épocas, dieron como resultado el desarrollo de diversos sistemas de fracturas. Durante el plegamiento, evento pre y/o contemporáneo al intrusivo, tuvo lugar la primera fracturación desarrollándose fallas longitudinales paralelas al rumbo regional de la estratificación. De todas estas fallas, resalta la falla Yauricocha que aparece a lo largo del contacto caliza Jumasha - lilita Celendín la cual se extiende a gran distancia al SE de la mina Ipillo y continua al N detrás del cerro Huamanripa, paralelo y lo largo de la laguna Silacocha (Departamento de Geología-Sociedad Minera Corona S.A., 2019).

Después que los intrusivos se emplazaron, el rumbo de los sedimentos plegados, al NW de la mina, fue girado por esfuerzos horizontales unos 30°. Como resultado de este giro, se desarrollaron cizallas y juntas de rumbo NW-SE, NE-SW y E-W, con buzamiento 50°-80° NE ó SW, las primeras; 60°-85° SE ó NW, las segundas y 80° N ó S a casi verticales, las terceras. Este conjunto de fracturas que forman bloques fallados, a través de los dominios biológicos del área, juntamente con la falla Yauricocha representan la fracturación más importante del distrito minero de Yauricocha

y ejercieron un fuerte control en la posición de vetas, cuerpos mineralizados (Departamento de Geología-Sociedad Minera Corona S.A., 2019).

- **Contactos**

Los contactos calizas Jumasha - Lutitas Celendín (france Chert). Calizas Jumasha-intrusivo y Lutitas Celendín-intrusivo, tienen importancia estructural durante el plegamiento, fracturación y ascenso de las soluciones mineralizantes (Departamento de Geología-Sociedad Minera Corona S.A., 2019).

- **Brechas**

Las brechas que ocurren en el área de Yauricocha, siguen principalmente la alineación estructural y se presentan mayormente en las calizas asociados a los contactos e intercepciones de fracturas; sus formas son tabulares y/o tubulares. Estas brechas que pueden ser tectónicas de explosión, de intrusión o de contacto, constituyen una de las principales estructuras receptoras de mineralización (Departamento de Geología-Sociedad Minera Corona S.A., 2019).

- **Geo estructuras principales**

La secuencia sedimentaria en el distrito esta plegada, teniendo su eje un rumbo general N 20° W, lo que hace que sea aproximadamente paralela al lineamiento general de los Andes. La estructura de mayor importancia es el Anticlinorio Casapalca, que presenta pliegues (sinclinales y anticlinales) asimétricos. En el área se encuentran cuatro grandes fallas inversas: Infiernillo de rumbo N 38° W y buzamiento 70° SW, Rosaura de rumbo N 55° W y buzamiento 80° SW. Americana de rumbo N 38° W y buzamiento 70° NE, y Rio Blanco, en la parte SW del distrito, con un rumbo N 35° E y paralelo al sistema de vetas Casapalca. Localmente, la estructura principal la constituye el Anticlinal Rosaura, cuyo eje tiene rumbo N 30° W. La mina

Rosaura se halla emplazada en su flanco W. En esta área hay tres sistemas principales de fracturamiento: el sistema principal tiene rumbo N 40°-60° W y buzamiento 60°-80°SW, el segundo sistema tiene rumbo N70°-80°W y buzamiento 60°-80° NE, y finalmente el tercer sistema tiene rumbo N 20°-30° E y buzamiento 50°-70° al NW (Departamento de Geología-Sociedad Minera Corona S.A., 2019).

### 1.2.7. Mineralización

La mineralización presente en el depósito mineral de Yauricocha está formada principalmente por pirita, cuarzo, enargita, calcopirita, bornita, covelita en el núcleo y parte central de los cuerpos y masas sueltas de pirita friable, galena, esfalerita junto con algo de calcopirita en una ganga de calizas, arcilla y cuarzo en la periferie. Asimismo la presencia de Au se halla asociado a dichos sulfuros (Departamento de Geología-Sociedad Minera Corona S.A., 2019).

Principales sulfuros:

- **Pirita:** Generalmente de textura friable a porosa y masiva distinguiéndose hasta 5 tipos que representan 5 estados diferentes de formación.
- **Marcasita:** Se han distinguido hasta tres tipos de marcasita y se encuentran asociadas a calcopirita, galena y esfalerita.
- **Enargita:** Es el principal mineral de cobre, se encuentra en fragmentos irregulares y en masas grandes junto con cuarzo y pirita.
- **Chalcopirita:** Después de la enargita, la calcopirita es el mineral de cobre más abundante. Se encuentra remplazando fragmentos de caliza brechada, junto al cuarzo friable y pirita, o rellenando pequeñas cavidades, está asociada a otro nativo y electrúm, hay un incremento de este mineral en los niveles bajos.
- **Bornita:** Se encuentra invariablemente asociado con la chalcopirita y en menor grado en la enargita.

- **Covelita e Idaita:** Se ha observado estos dos minerales dentro de la bornita, formando solución sólida o en intercrecimiento laminar pequeño.
- **Tetraedrita y Tenantita:** Cristales pequeños de estos minerales son abundantes en la periferie de los cuerpos de enargita, como en los cuerpos mineralizados aledaños al stock intrusivo Central y Sur Medio.
- **Galena:** Se encuentra diseminada en piritita y en caliza eskarnizada, siempre está asociada con la calcopiritita y esfalerita.
- **Esfalerita:** Es el mineral más abundante, se encuentra asociada con arcilla, piritita y galena mayormente en la periferie de los cuerpos mineralizados.
- **Geocronita:** Se presenta en los niveles superiores de la mina asociado a la galena, esfalerita, tetraedrita y cuarzo, rellenando fracturas y clivajes de la esfalerita.

Minerales de Ganga (Departamento de Geología-Sociedad Minera Corona S.A., 2019):

- **Cuarzo:** Es el mineral de mayor abundancia en los cuerpos mineralizados.
- **Especularita y Siderita:** Se encuentra asociado en la caliza y vetas en intrusivo en mina Éxito e Ipillo.
- **Calcita:** Se encuentra en vetillas asociado con cuarzo y esfalerita.
- **Fluorita:** Depositada contemporáneamente con la galena y esfalerita dentro de los cuerpos de plomo-zinc.
- **Baritina:** Se le encuentra en la periferie de los cuerpos de plomo-zinc emplazadas en la zona de menor temperatura.
- **Magnetita:** Se encuentra en los cuerpos Cuye, Catas y muy escasamente en Antacaca, y en los niveles profundos (Nv. 770 hasta el Nv. 1020), reconocido con perforaciones diamantinas, la magnetita se encuentra asociado con piritita y calcopiritita.

### 1.2.8. Enriquecimiento Supergénico y Oxidación

La oxidación de los cuerpos mineralizados en Yauricocha es de parcial a completo y va desde superficie hasta por debajo del nivel 920. El enriquecimiento supergénico de sulfuros guarda estrecha relación con la distribución de los óxidos (Departamento de Geología-Sociedad Minera Corona S.A., 2019).

La covelita, chalcopirita y digenita de origen supergénico se encuentra donde los sulfuros están en contacto con los óxidos (Departamento de Geología-Sociedad Minera Corona S.A., 2019).

- **Óxidos Residuales:** Entre los minerales presentes en los óxidos formados “in-situ”, se puede mencionar a la limonita, goethita, jarosita, hematita, cuarzo, yeso, anglesita, caolín, oro y plata. Con excepción de los óxidos residuales de los cuerpos mineralizados Mascota y Pozo Rico que se extienden desde superficie hasta por debajo del nivel 1120. En general, los óxidos van hasta una profundidad de 10 a 15 m (Departamento de Geología-Sociedad Minera Corona S.A., 2019).

**Óxidos Transportados:** Estos óxidos están completamente libres de cuarzo y entre ellos se encuentra: cuprita cobre nativo, malaquita, azurita, brocantita, jarosita, cerusita, crisocola y óxido de manganeso. Estos óxidos transportados siguen la caja piso de los cuerpos mineralizados se les puede encontrar desde superficie hasta por debajo del nivel 920, se encuentran rellenando cavidades cársticas (Departamento de Geología-Sociedad Minera Corona S.A., 2019).

### 1.2.9. Controles de Mineralización

**Control Estructural:** Es sabido que los pliegues que pasan por el área de Yauricocha, muestran que el rumbo de sus ejes han rotado en plano horizontal unos 30°, como resultado de esta rotación tres sistemas principales de cizalla y juntas se han desarrollado con rumbo de E-W y NW-SW y NE-SW.

El primer sistema es casi vertical, mientras que el segundo tiene buzamiento de 70° al NE debido a la influencia de los estratos en la dirección del cizallamiento y 75° SE los terceros. La gran mayoría de los cuerpos mineralizados se encuentran siguiendo el cizallamiento NW-SE. Es muy probable que los cuerpos estén marcando la dirección del rumbo del cizallamiento que son más definidos en profundidad, hecho este que se constata en los niveles más profundos de la mina. Es muy posible que los cuerpos puedan tener su posición controlada en profundidad por la intersección del cizallamiento persistente NE-SW y E-W. Visto en plano la posición de los cuerpos a emplazarse paralelos a estas dos direcciones de cizallamiento y junturamiento. Además, dos hechos corroboraron lo dicho anteriormente; el bandeamiento de la pirita dentro de los cuerpos mineralizados y la presencia de algunas vetas con ambas direcciones encontradas dentro de los intrusivos, caliza Jumasha y France Chert (Departamento de Geología-Sociedad Minera Corona S.A., 2019).

El contacto caliza Jumasha-France Chert ha influenciado fuertemente en la forma y posición de los cuerpos Cuye y Catas. Este contacto tiene un rumbo de NW a SE y buza entre 85° y 70° al NE (Departamento de Geología-Sociedad Minera Corona S.A., 2019).

**Control Físico-Químico:** La preferencia por la caliza mostrada por los cuerpos es bien marcada, aunque cuerpos discontinuos tipo vetas también se encuentran en la caliza y en la granodiorita. Todos los cuerpos conocidos que tienen cobre se encuentran dentro de la aureola de recristalización de la caliza bordeando a las intrusiones de granodiorita y solamente los cuerpos de Pb-Zn se han encontrado en caliza recristalizada. La susceptibilidad al reemplazamiento de la caliza es aumentada por el fracturamiento acentuado y el tamaño más grande de los cristales de calcita, consecuentemente no es sorprendente que los cuerpos grandes se encuentren dentro de la aureola de caliza recristalizada y donde los tipos de rocas difieren en competencia. Ejemplo

Contacto Caliza – France Chert – Intrusivo (Departamento de Geología-Sociedad Minera Corona S.A., 2019).

### **1.3. Formulación del problema**

#### **1.3.1. Problema general**

¿Cómo influye la evaluación geomecánica para determinar el tipo de sostenimiento de la Cámara para el Winche de Producción del Nv. 720, en la unidad económica Yauricocha?

#### **1.3.2. Problemas específicos**

- ¿Cómo influye el factor de seguridad en el sostenimiento de la Cámara para el Winche de Producción?
- ¿Cómo influye la evaluación geomecánica en el desarrollo de la excavación y sostenimiento de la Cámara para el Winche de Producción?

### **1.4. Formulación de objetivos**

#### **1.4.1. Objetivo general**

Determinar cómo influye la evaluación geomecánica para determinar el tipo de sostenimiento de la Cámara para el Winche de Producción del Nv. 720, en la unidad económica Yauricocha.

#### **1.4.2. Objetivos específicos**

- Evaluar cómo influye el factor de seguridad en el sostenimiento de la Cámara para el Winche de Producción.
- Describir la influencia de la evaluación geomecánica en la excavación y sostenimiento de la Cámara para el Winche de Producción.

### **1.5. Justificación de la investigación**

La subsidencia por el método del sub Level Caving, pone a diario en peligro a los trabajadores de la mina. La profundización del pique y la

construcción del Winche tienen por finalidad que a futuro permitan alejar los trabajos de izaje de la zona de subsidencia que se presenta al interior de la mina y que permita centralizar el sistema de izaje en un solo pique; asimismo determinar el tipo de sostenimiento según la evaluación geomecánica de la Cámara Winche sin que se tenga problemas a futuros de derrumbe. Además esta investigación servirá como una guía para la planeación, ejecución, perforación, voladura y sostenimiento en obras de gran envergadura; identificándose que la evaluación geomecánica es muy importante para determinar el tipo de sostenimiento en aberturas de grandes dimensiones como lo es la Cámara para el Winche de Producción.

#### **1.6. Limitaciones de la investigación**

Las limitaciones que se considera es la poca información en cuanto a la data que brinda la empresa ya que son muy reservados y no pueden publicar sus proyectos de forma íntegra.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. Antecedentes de estudio**

Como antecedentes se consideraron los siguientes antecedentes nacionales:

- a. Según (Salazar, E. S., 2020), en su investigación titulada *“Evaluación geomecánica para determinar el tipo de sostenimiento en tajeos de explotación por el método de corte y relleno ascendente Unidad Minera Yauricocha-Sociedad Minera Corona S.A.”* tuvo como objetivo determinar cómo influye la evaluación geomecánica para determinar el tipo de sostenimiento en tajeos de explotación por el método de corte y relleno ascendente, tajeo 0337, RP basculante, piso 0, nivel 1170, zona V, cuerpo mascota – Unidad Minera Yauricocha, 2018; definiendo el sostenimiento como el procedimiento de lograr la estabilidad del macizo rocoso; utilizó el método científico llegando a la conclusión que al realizar los análisis de laboratorio del macizo rocoso del tajo, este está compuesto de roca ígnea plutónica tipo granodiorita y según las evaluaciones de volumen, densidad, humedad, grado de saturación, porosidad, absorción entre otros, y

utilizando el software de geomecánica y sus parámetros estos influyen en la determinación del tipo de sostenimiento, donde la valorización de la roca es de 74 puntos que clasifica al macizo rocoso como bueno clase II, lo cual permite viabilizar el empleo de pernos Split Set localmente de 3 m en la corona, espaciados a 2.5 m con malla electrosoldada y shotcrete ocasionalmente, determinando de esta manera el tipo de sostenimiento del tajo.

- b. Según (Rios, R., 2019) en su investigación titulada *“Evaluación Geomecánica para la determinación del tipo de Sostenimiento del Macizo Rocosos en los Túneles Carreteros Los Ángeles”* nos indica que si no se realizan una evaluación geomecánica para el macizo rocoso de los túneles carreteros “ Los Ángeles”, se presentarían problemas de inestabilidad durante la excavación, ocasionando un ambiente inseguro. Por ello el objetivo de la investigación ha sido determinar la influencia de la evaluación geomecánica en la determinación del tipo de sostenimiento del macizo rocoso; determinando según la clasificación geomecánica de Bieniawski (1989) y Q de Barton (1974) realizadas en esta investigación; para Roca tipo II-Buena, se necesitaría como sostenimiento, bulones de 3 metros de longitud con un espaciamiento de 2.5 cm x 2.5 cm + Concreto proyectado con un espesor de 5 cm; para Roca tipo III-Regular, se necesitaría bulones de 3 metros de longitud con un espaciamiento de 1.5 cm x 1.5 cm + Concreto proyectado con un espesor de 8 cm + Malla electrosoldada; para Roca Buena se necesitaría bulones de 3 metros de longitud con un espaciamiento de 2.5 cm x 2.5 cm y para Roca Media, bulones de 3 metros de longitud con un espaciamiento de 1.5 cm x 1.5 cm + Concreto proyectado con un espesor de 5 cm. Se demostró que el Factor de Seguridad con los sistemas de sostenimiento fue  $F.S. > 1.5$  garantizándose la estabilidad del túnel, con un costo total de sostenimiento de S/ 44, 166,264.59 soles.

- c. Según (Sandoval, F. J. M., 2018) en su investigación titulada “Estudio Geomecánico para un Optimo Diseño de la Excavación y sostenimiento - Mina Yauricocha S.A. región Lima”, nos indica que todo método de explotación necesita llevar un control geomecánico de estabilidad de la masa rocosa en sus labores de explotación y extracción, es así que el objetivo general de su investigación es determinar las características geomecánicas que posee el macizo rocoso de la mina Yauricocha-Sociedad Minera Corona S.A. que permita diseñar la excavación y contar con un sostenimiento adecuado y estable, llegando al resultado de que los métodos empíricos para la estimación del sostenimiento se basan en las clasificaciones RMR y Q, y al correlacionar el índice Q con el RMR y GSI se determinó los tipos de sostenimiento que se utilizarían en la mina según el método de explotación que es el sub Level Caving, donde indica que este método se adapta a las condiciones geomecánicas de la masa rocosa del yacimiento, así mismo se considera la presencia del agua en la estabilidad de las labores, como factor influyente en la estabilidad.
- d. Según (Huidobro, E. A., 2018) en su investigación titulada “Influencia de los Índices Geomecánicos RMR y GSI en la Construcción del Proyecto Pique Principal Marsa Unidad Minera San Andrés-Marsa” nos indica que para estimar el sostenimiento en el eje del pique y en las cámaras, se utilizó el diseño de sostenimiento en base a las evaluaciones de las clasificaciones geomecánicas del RMR y GSI. Los resultados del análisis debido a esfuerzos de las labores conexas al Pique Marsa, se ha evaluado un antes y después del colocado del sostenimiento; evidenciando que estas labores se encuentran estables con F.S. mayores a 1.5. Al realizarse los cálculos de factores de seguridad de los diferentes elementos de sostenimiento recomendados, estos se encuentran con F.S. mayores a 1.1 haciendo estables las labores.

- e. Según (Quispe, K. A., 2018), en su investigación titulado “Evaluación Geomecánica para la elección del tipo de sostenimiento en el túnel Yauricocha del Nv.720, Sociedad Minera Corona S.A.” nos dice que la minería es una actividad de alto riesgo donde generalmente los accidentes se debe al desprendimiento de rocas, para ello la evaluación geomecánica permite el control de estabilidad de la masa rocosa, así su investigación tuvo como objetivo determinar cómo influye la evaluación geomecánica en la elección del tipo de sostenimiento en el túnel Yauricocha del Nv. 720, en sociedad Minera Corona S.A., llegando a la conclusión que en la evaluación geomecánica del túnel Yauricocha se tuvo 4 mediciones y de acuerdo a la clasificación de Bieniawski (1989) y la clasificación de Hoek y Brown (GSI) se determinó que el tipo de sostenimiento recomendado para la Medición 1 se debe sostener con Perno Helicoidal de 7’ pies con un espaciado de 1.2 x 1.2 metros, en un tramo de 200 metros. En la Estación de medición N° 2 se debe sostener con Malla electrosoldada + Perno Helicoidal de 7’ con un espaciado de 1.2 x 1.2 metros, en un tramo de 150 metros. En la Estación de medición N° 3 se debe sostener con Shotcrete de 2” pulgadas + Perno Helicoidal de 7’ pies con un espaciado de 1.2 x 1.2 metros, en un tramo de 200 metros. En la Estación de medición N° 4 se deberá sostener con Cimbras metálicas tipo H6 en un tramo de 100 metros.
- f. Según (Sanchez, P. C., 2018) en su trabajo denominado “Evaluación Geomecánica para el Dimensionamiento de Tajos en el Sistema de Explotación por Taladros Largos en la Unidad Minera Untuca Cori Puno S.A.”, nos dice que al realizar el cambio del método de explotación de cámaras y pilares a taladros largos, su principal problema fue el dimensionamiento del tajo, por lo cual la evaluación geomecánica influyo significativamente en el dimensionamiento de tajos; así se identificó que en el sistema estructural este presenta 3 sistemas principales, estratificación

sub horizontal donde hace que el dimensionamiento se realice en forma rectangular y no en forma bóveda, según la evaluación geomecánica se identificó roca predominante tipo IIIA, las pruebas con martillo Schmidt con promedio de 42 Mpa, ensayo de carga puntual igual a 8.11 Mpa, ensayo de compresión triaxial con una cohesión de 6.76 Mpa, ángulo de fricción igual a  $31.64^\circ$  y densidad seca de  $2.8 \text{ g/cm}^3$  dando la resistencia del pilar 0.026; estos datos aportaron para el dimensionamiento de los tajos y pilares corridos mediante las teorías del Método Gráfico de Estabilidad.

Como antecedentes de estudio internacionales se consideraron:

- g. Según (Pinilla T. A. A., 2018) en su investigación titulada *“Evaluación Geomecánica para el diseño de nuevas alternativas de explotación bajo tierra para la mina el Uvo Acerías Paz del Río S.A.”*, tuvo como objetivo la evaluación geomecánica en las zonas 71T y 73C, propiedad de la empresa Minas Paz del Río S.A. de Colombia, así mismo evaluar las condiciones geológicas regionales, locales de la mina y del yacimiento de mineral de hierro. Se identificó una clasificación geomecánica del macizo rocoso para la zona del sexto nivel de clase III o regular, evidenciándose mayor fracturamiento del macizo rocoso que corresponde al banco de mineral de hierro debido a la cercanía con la falla de Buenos Aires. Para el séptimo nivel las condiciones geomecánicas se obtuvo un macizo de clase II, establecido como bueno. Llegando a la conclusión que el método de explotación por cámaras largas aporta a la empresa mejores condiciones técnicas y operativas en la explotación del mineral de hierro con una razón de explotación 50% optimizando la utilización de los equipos mecánicos de perforación y transporte de carga además de brindar mejores condiciones de seguridad y accesos a los frentes de trabajo. Según la evaluación geomecánica el dimensionamiento de los pilares para el método de explotación por cámaras largas garantizan la estabilidad y seguridad de la

excavación, con un factor de seguridad mayor a dos evaluado por la teoría de Obert duvall y el método de explotación por tambores paralelos y subniveles, garantiza el avance de labores utilizando jumbos lo cual repercute en la estabilidad económica.

- h. Según (Guamán G. V. E. y Mendieta G. F. A., 2013) en su investigación titulada *“Evaluación Geomecánica del Macizo Rocoso en la Cantera de materiales de construcción Las Victorias”*, nos dice que ha empleado una metodológica de investigación que consta de trabajo analíticos y experimentales, basados en estudios de los sistemas de clasificación geomecánica de RQD, RMR, sistema Q, SMR, GSI con los que se determinó la calidad del macizo rocoso. Debido a la escasez de datos geológicos y físico-mecánicos de la cantera “Las Victorias”, ubicado en el sector “El Descanso-Ecuador” surge la necesidad de realizar la caracterización geomecánica del macizo rocoso que permitan conocer el comportamiento geomecánico de este macizo, un estudio que servirá como base para la voladura y estabilidad de taludes. Llegó a la conclusión que las familias de discontinuidades presentes en el macizo rocoso, influyen en su comportamiento y calidad global. La principal forma de pérdida de estabilidad se debe a la formación de cuñas. En general las clasificaciones geomecánicas con mejores resultados de aplicación son las de Bieniawski (RMR), romana (SMR) y el GSI, que clasifica al macizo rocoso de la cantera “Las Victorias” de calidad Media y comportamiento Elasto-Fragil, con ello al final se logró realizar la evaluación geomecánica de la Cantera la Victoria.

## **2.2. Bases teóricas - científicas**

Para la evaluación geomecánica y el sostenimiento de la Cámara para el Winche de Producción, se tuvo en consideración los siguientes estudios:

### **2.2.1. Mecánica de rocas y geomecánica**

En la mecánica de roca, el principal objeto de estudio es el macizo rocoso que contiene una estructura con fallas, pliegues, planos de estratificación y otras características (Ramirez & Alejano, 2004, p. 1).

“La geomecánica estudia las características mecánicas de los suelos y las rocas (denominados materiales geológicos), también sirve para determinar su comportamiento, en función a los cambios de esfuerzos, presión, temperatura y otros parámetros ambientales” (Salazar, 2020, p. 19).

### **2.2.2. RQD**

La clasificación dada por Deere en 1967, propuso un sistema de sostenimiento basado en el RQD, que es el porcentaje de trozos de testigo mayores a 10 cm dividido por la longitud total del testigo, los resultados permiten ver el grado de fracturación del macizo rocoso (Ramirez & Alejano, 2004, p. 210).

Cuando no hay sondeos el RQD indirectamente se puede medir mediante las discontinuidades, esto lo sugirió Palmstron en 1974, en la siguiente ecuación:

$RQD = 115 - 3.3 \times J_v$ . ( $J_v$ ) es número de discontinuidades (Quispe, 2018, p. 51).

### **2.2.3. Sistema RMR**

Se utilizó la valoración del criterio de clasificación de masa rocosa de Bieniawski 1989, donde nos permite relacionar los índices de calidad con el diseño y el sostenimiento del macizo rocoso (Gonzales de Vallejo, 1984), tomando en cuenta los siguientes parámetros:

- ❖ Resistencia uniaxial de la matriz rocosa.
- ❖ Grado de fracturamiento en términos de RQD.
- ❖ Espaciado de discontinuidades.
- ❖ Condiciones de las discontinuidades.

- ❖ Presencia de agua subterránea.
- ❖ Orientación de las discontinuidades respecto a la excavación.

De acuerdo a los resultados de estos parámetros se expresa la condición de la excavación con un índice que varía de 0 a 100 denominado RMR, (Gonzales de Vallejo, 1984) ver tabla 1 y tabla 2.

*CUADRO N° 1: Interpretación de los valores de RMR de Bieniawski, 1989*

|              | <b>RANGO</b> | <b>RANGO Q</b> | <b>CALIDAD</b> |
|--------------|--------------|----------------|----------------|
| <b>II</b>    | >            | > 5.92         | Bueno          |
| <b>III A</b> | 51 – 60      | 2.18 – 5.92    | Regular A      |
| <b>III B</b> | 41 – 50      | 0.72 – 1.95    | Regular B      |
| <b>IV A</b>  | 31- 40       | 0.24 – 0.64    | Mala           |
| <b>IV B</b>  | 21 – 30      | 0.08 – 0.21    | Mala           |
| <b>V</b>     | <            | < 0.08         | Muy Mala       |

Fuente: (Departamento de Geomecánica-Sociedad Minera Corona, 2019)

*CUADRO N° 2: Resistencia compresiva uniaxial*

| <b>N° de golpes con la picota de geólogo</b> | <b>Rc-Mpa</b> | <b>Descripción de la roca</b>  |
|--|---------------|--|
| Se rompe con varios golpes                   | 100 a 250 Mpa | Inalterada, discontinuidades cerradas y rugosas                                |
| Se rompe con uno o dos golpes                | 50 a 100 Mpa  | Levemente alterado, manchas de oxidación discontinuidades ligeramente abiertas |
| Se indenta con un golpe                      | 25 a 50 Mpa   | Moderadamente alterada, discontinuidades lisas y ligeramente abiertas          |
| Se indenta mas de 5 mm con un golpe          | 5 a 25 Mpa    | Muy alterada, superficie lisa, relleno compacto                                |

Fuente: (Gonzales de Vallejo, 1984)

#### **2.2.4. Sistema Q**

El sistema Q fue desarrollado por Barton, Lien y Lunde en 1974, para el diseño de excavaciones subterráneas, principalmente túneles (Gonzales de Vallejo, 1984).

Para brindar una descripción de la calidad del macizo rocoso, el sistema Q se basa en la estimación de seis parámetros independientes que expresa la calidad de la roca (Gonzales de Vallejo, 1984), ver tabla 3.

$$Q = \frac{RQD}{J_n} * \frac{J_r}{J_a} * \frac{J_w}{SRF}$$

Donde:

- RQD = Índice de calidad de la roca
- J<sub>n</sub>= Parámetro basado en el número de familias de discontinuidades
- J<sub>r</sub>= Parámetro basado en la rugosidad de las discontinuidades
- J<sub>a</sub>= Parámetro basado en la alteración de las discontinuidades
- J<sub>w</sub>= Parámetro basado en la presencia de agua
- SRF= Factor de reducción de esfuerzos

Según Gonzales de Vallejo (1984) “El SRF, representa el Factor de Relajación Tensional, definido como el cociente entre la edad en años x 10<sup>-3</sup> de la última deformación tectónica principal y la máxima carga vertical litostática”.

*CUADRO N° 3: Interpretación del índice Q de Barton 1974*

| Descripción                 | Q            |
|-----------------------------|--------------|
| Roca excepcionalmente mala  | 0.001 - 0.01 |
| Roca extremadamente mala    | 0.0.1 - 0.1  |
| Roca muy mala               | 0.1 - 1      |
| Roca mala                   | 1 – 4        |
| Roca Regular                | 10 – 40      |
| Roca Buena                  | 40-100       |
| Roca extremadamente Buena   | 100-400      |
| Roca excepcionalmente Buena | 400-1000     |

Fuente: (Gonzales de Vallejo, 1984)

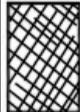
### 2.2.5. Índice GSI (índice de resistencia geológica)

Desarrollado por Hoek y Brown, la clasificación GSI relaciona dos aspectos importantes: la condición de estructura (fracturas) y la condición

superficial (resistencia al corte) del macizo rocoso (Ramirez & Alejano, 2004, p. 165).

El GSI se determina de una cuidadosa observación del macizo rocoso, esencialmente cualitativa, ver figura 3.

Gráfico N° 3: Índice de resistencia geológica (GSI) de Hoek y Marinos

| ESTRUCTURA DEL MACIZO ROCOSO  | CONDICIONES DE LOS LABIOS DE LAS DISCONTINUIDADES           |       |       |      |          |
|---|---|-------|-------|------|----------|
|   | MUY BUENA   | BUENA | MEDIA | MALA | MUY MALA |
|   | CALIDAD DECRECIENTE DE LOS LABIOS DE LAS DISCONTINUIDADES → |       |       |      |          |
|  <p><b>INTACTO O MASIVO</b><br/>Muestras intactas de roca o macizos rocosos masivos con pocas discontinuidades muy espaciadas.</p>   | 90  |       |       | N/A  | N/A      |
|  <p><b>FORMADO POR BLOQUES</b><br/>Macizo rocoso consistente en bloques cúbicos delimitados por tres familias de discontinuidades, con los bloques bien encajados.</p>  | 80  | 70    |       |      |          |
|  <p><b>FORMADO POR MUCHOS BLOQUES</b><br/>Macizo rocoso formado por bloques angulares de muchas caras delimitados por cuatro o más familias de discontinuidades. Los bloques están encajados pero sólo parcialmente.</p>                     |   | 60    | 50    |      |          |
|  <p><b>FORMADO POR MUCHOS BLOQUES, DISTORSIONADO Y BANDEADO</b><br/>Plegado con muchos bloques angulares formados por la intersección de muchas familias de discontinuidades. Planos de estratificación o de esquistosidad persistentes.</p> |   |       | 40    | 30   |          |
|  <p><b>DESINTEGRADO</b><br/>Macizo rocoso muy fracturado con una mezcla de bloques angulares y redondeados débilmente encajados.</p>   |   |       |       | 20   |          |
|  <p><b>LAMINADO Y CIZALLADO</b><br/>Debido a la existencia de numerosos planos débiles muy próximos de esquistosidad o de cizalla, no existen bloques.</p>   | N/A   | N/A   |       |      | 10       |

↑ ENCAJE DECRECIENTE ENTRE LOS TROZOS DE ROCA ↓

**NOTAS SOBRE LAS CONDICIONES DE LOS LABIOS DE LAS DISCONTINUIDADES**

**MUY BUENA** : superficies muy rugosas y sanas

**BUENA** : superficies rugosas, ligeramente meteorizadas y teñidas de óxido

**MEDIA** : superficies lisas y moderadamente meteorizadas y alteradas

**MALA** : superficies con espejos de falla y altamente meteorizadas, con rellenos de fragmentos angulares o con recubrimientos compactos

**MUY MALA** : superficies con espejo de falla altamente meteorizadas con recubrimientos o rellenos de arcillas blandas

Fuente: (Ramirez Oyanguren, y otros, 2004)

### **2.2.6. Las estructuras geológicas en las excavaciones**

Es el factor que influye significativamente en la estabilidad de una excavación subterránea, relaciona la geometría estratigráfica con respecto al eje del túnel (Gonzales de Vallejo, 1984).

Las estructuras geológicas se dividen en estructuras mayores que se originan por grandes movimientos de la corteza terrestre dando origen a las fallas geológicas y las estructuras menores que tienen al menos un metro de longitud como una familia de discontinuidades, muy importantes para la clasificación del macizo rocoso (OSINERGMIN, 2017, p. 34).

### **2.2.7. Discontinuidades**

En conjunto con las estructuras geológicas determinan la geometría de la excavación, el tipo de rotura, la estabilidad, la distribución de las tensiones y filtraciones en el macizo rocoso (Gonzales de Vallejo, 1984).

### **2.2.8. La resistencia del macizo rocoso**

Se puede expresar como la relación entre la resistencia uniaxial y la presión que sufre, dándonos el FC (factor de competencia), en la siguiente ecuación (Gonzales de Vallejo, 1984):

$$FC = \frac{\sigma_c}{\gamma \cdot H}$$

Dónde:  $\sigma_c$  = Resistencia uniaxial

$\gamma$  = Densidad natural

H = Espesor de recubrimiento

Los resultados pueden indicar lo siguiente (Gonzales de Vallejo, 1984):

$F_c > 10$ : No es requerido soporte, considerándose la influencia de las discontinuidades.

$10 > F_c > 2$ : La matriz rocosa puede deformarse elástica, plástica o rotura frágil, determinando con el tiempo la estabilidad de la roca.

$F_c < 2$ : Luego de excavar, es requerido el soporte inmediato al producirse una alta tensión.

### 2.2.9. Tensiones halladas en el macizo rocoso

Previa a la excavación, se produce las tensiones naturales tectónicas térmicas gravitacionales y posterior a la excavación se producen tensiones inducidas por la abertura, así los parámetros a determinar son la distribución de las tensiones, la magnitud  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$ ,  $\sigma_3$  y orientación (Gonzales de Vallejo, 1984).

Sheorey en 1994, desarrolló un modelo de esfuerzos (ver figura 4), que permite estimar el valor del ratio (k) del esfuerzo horizontal con respecto al esfuerzo vertical (OSINERGMIN, 2017, p. 37). Esta ecuación es:

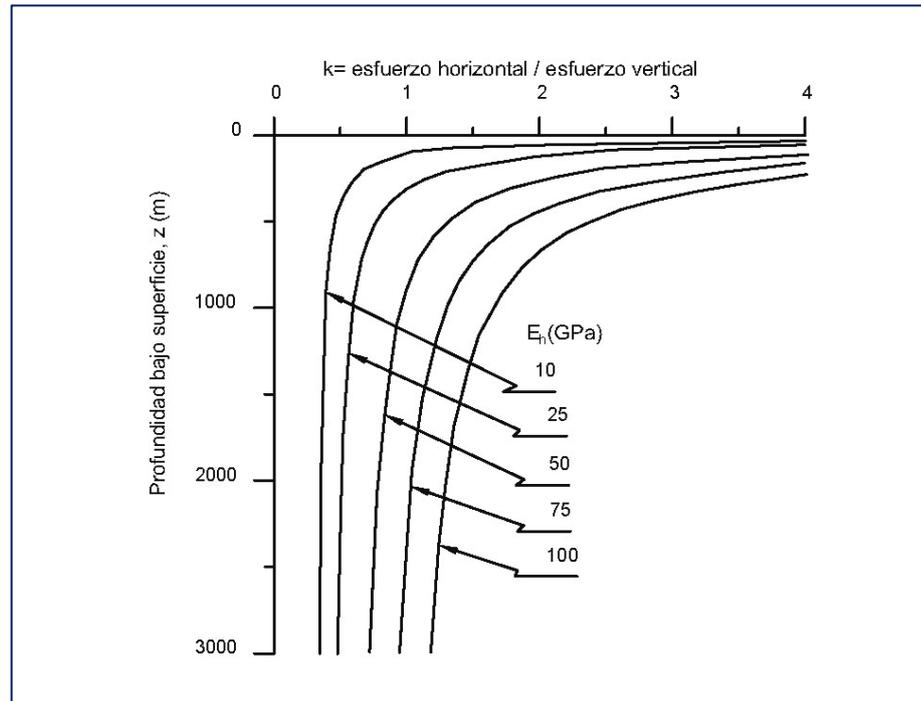
$$K = 0.25 + 7E_h \left( 0.001 + \frac{1}{Z} \right)$$

Donde:

- Z: es la profundidad con respecto a la superficie.
- $E_h$ : es el módulo de elasticidad promedio en GPa de la roca de cobertura medido en la dirección horizontal.

Gráficamente la representación de esta ecuación sería:

Gráfico N° 4: Ratio del esfuerzo horizontal y vertical para diferentes Módulos de Elasticidad ( $E_h$ )



Fuente: (OSINERGMIN, 2017, p. 37)

### 2.2.10. Diseño geomecánico de excavaciones

Según la clasificación de Bieniawski 1979, se puede clasificar:

#### ❖ **Métodos analíticos**

Analizan las deformaciones y tensiones alrededor de la excavación en forma de códigos numéricos (Gonzales de Vallejo, 1984).

#### ❖ **Métodos observacionales**

Realizan el seguimiento y control de las deformaciones cuando se realizan las excavaciones (Gonzales de Vallejo, 1984).

#### ❖ **Métodos geológicos**

Utilizan mapas que describen las estructuras que pueden afectar la estabilidad de la excavación (Gonzales de Vallejo, 1984).

#### ❖ **Método empírico**

Analiza los datos estadísticos y empíricos para el diseño geomecánico, (Gonzales de Vallejo, 1984). Los métodos de

clasificación geomecánica que se usaron en esta tesis son la de Bieniawski 1989, Q de Barton, Lien y Lunde en 1974, GSI de Hoek y Brown.

### **2.2.11. Factor de Seguridad**

En el diseño de estructuras de ingeniería de gran envergadura, el Factor de Seguridad es la relación entre la capacidad de soporte a la carga del sistema y las fuerzas actuantes o carga actuando sobre el sistema (OSINERGMIN, 2017 pág. 46). Se define como:

$$FS = \frac{\textit{Capacidad de soporte de carga}}{\textit{Fuerzas actuantes}}$$

Existen tres posibles sucesos:

Cuando F.S.>1, sistema estable.

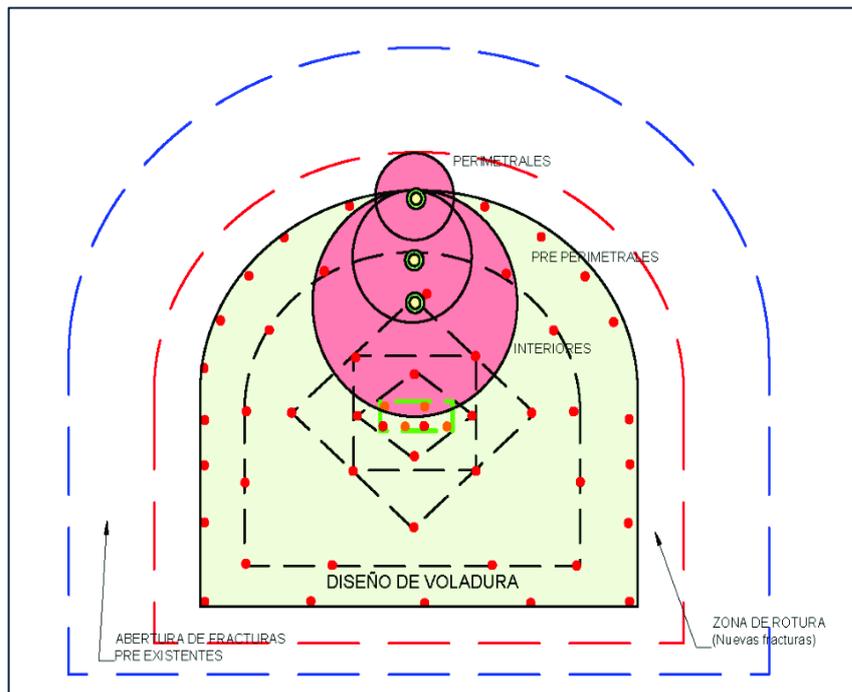
Cuando F.S. <1, sistema inestable.

Cuando F.S.=1, el sistema está en equilibrio.

### **2.2.12. Voladura en la masa rocosa**

Al realizar una voladura el objetivo es obtener la fragmentación adecuada infringiendo el menor daño al macizo rocoso, por ello la voladura controlada nos permite determinar cuanta carga va en el taladro, el análisis de tiempos de retardo y una secuencia de detonación que permite el control del área a excavar (OSINERGMIN, 2017, p. 67), ver figura 5.

Gráfico N° 5: Voladura controlada en túneles



Fuente: (OSINERGMIN, 2017, p. 72)

### 2.2.13. Tamaño y geometría de excavaciones

La orientación, las estructuras geológicas, los esfuerzos inducidos y la forma de la excavación, influyen en la estabilidad del macizo rocoso (OSINERGMIN, 2017, p. 74).

Las formas esquinadas, son desfavorables, porque se producen altas tensiones en las esquinas, requiriéndose mayor cantidad de sostenimiento (uso de Split Set, Perno Helicoidal, Malla electrosoldada, Shotcrete de 4", Cable Bolting) por tanto un aumento de costos en sostenimiento (OSINERGMIN, 2017, p. 74).

Las excavaciones en forma de arco o bóveda son mejores porque distribuyen los esfuerzos de tensión y compresión, eliminados los esfuerzos críticos que harían el colapso inminente de la excavación (OSINERGMIN, 2017, p. 74).

Se debe tener en cuenta que la orientación de la excavación debe ser perpendicular a las discontinuidades y no debe ser paralela, puesto que los altos

esfuerzos se concentrarían en las fallas y harían inestable la excavación (OSINERGMIN, 2017, p.77).

El tamaño de las excavaciones debe estar acorde a la evaluación geomecánica del macizo rocoso, puesto que en una roca de mala calidad no sería bueno ampliar la excavación porque generaría inestabilidad.

#### **2.2.14. Tiempo de auto sostenimiento**

El tiempo de auto sostenimiento del macizo rocoso nos lo proporciona Bieniaswski el cual relaciona el ancho de la excavación o Span con el tiempo de auto sostenimiento (OSINERGMIN, 2017, p. 79).

#### **2.2.15. Sostenimiento de excavaciones**

El tiempo que puede transcurrir entre la excavación y el sostenimiento depende del macizo rocoso, puesto que en rocas de buena calidad el sostenimiento no es inmediato, pero en rocas de mala calidad el sostenimiento deberá ser inmediato (OSINERGMIN, 2017, p. 85).

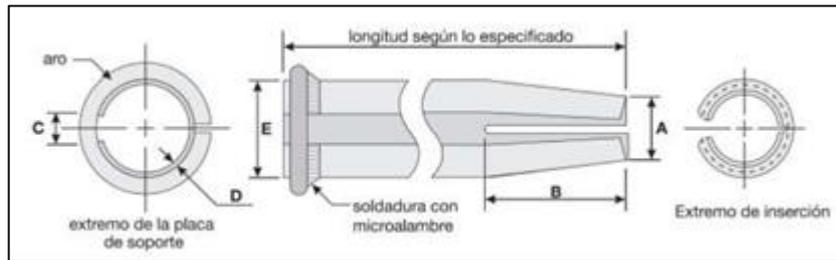
El sostenimiento de las excavaciones subterráneas tiene la finalidad de controlar y mantener estable el macizo rocoso, con el fin de dar condiciones seguras de trabajo a los trabajadores (Departamento de Geomecánica-Yauricocha, 2019).

#### **2.2.16. Características de los sistemas de sostenimiento**

##### **➤ Split Set**

Los estabilizadores de fricción (Split Set) son muy sensibles al diámetro del taladro; en Sociedad Minera Corona S.A., en donde se realizó la presente tesis, se utilizan pernos Split Set de 39.5 mm de diámetro, con longitudes de 5 pies y 7 pies. Se usa platina de acero (placa de sujeción), de 20 cm x 20 cm y 5 mm de espesor, ver figura 6.

Gráfico N° 6: Especificaciones del Split Set



| Dimensiones              | FS-39        |
|--------------------------|--------------|
| A Diámetro del empuntado | 30 mm        |
| B Longitud del empuntado | 65 mm        |
| C Ancho de la ranura     | 17 mm        |
| D Espesor de la lámina   | 2.3 a 2.4 mm |
| E Diámetro del perno     | 39+/-0.5 mm  |

Fuente: (Estándar de Sostenimiento - Yauricocha, 2017)

Su instalación estuvo en función de la recomendación del Departamento de Geomecánica a 1.20 m x 1.20 m con enfoque sistemático.

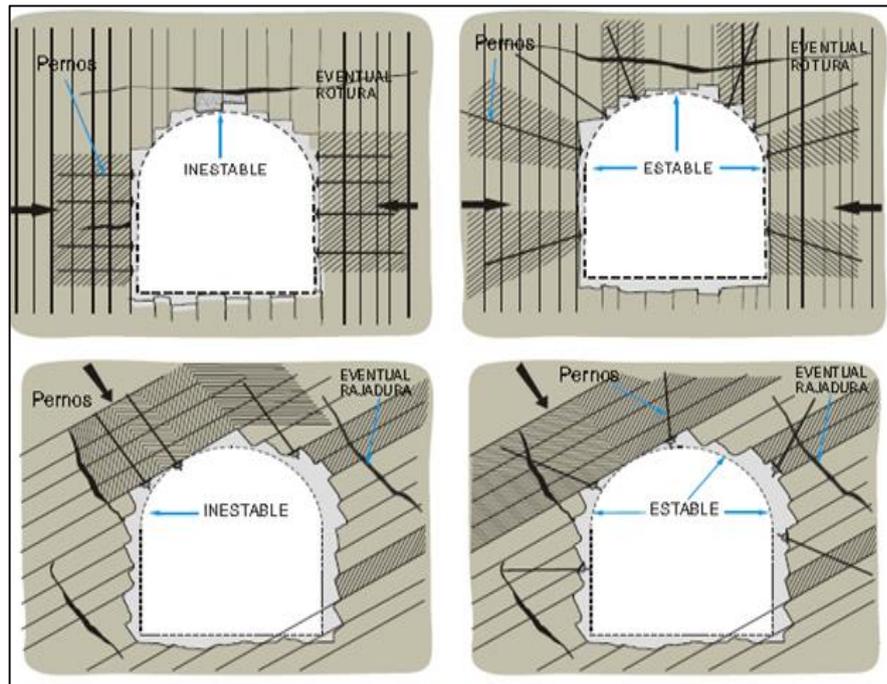
Para la instalación de Split Set de 7' se utiliza juegos de barras de 4' con broca de 38 mm, barras de 6' con brocas de 36 mm y barra de 8' con broca de 36 mm (Estándar de Sostenimiento - Yauricocha, 2017).

Para la instalación de Split Set de 5' se utiliza juegos de barras de 2' con broca de 38 mm y barra de 6' con broca de 36 mm.

La capacidad de carga mínimo es: 1Ton/Pie, dependiendo de la calidad del macizo rocoso, medido por la prueba "Pull Test".

La longitud de los pernos dependerá de las secciones: Si son menores o iguales a 2.50 m x 2.50 m se usará pernos de 5 pies y para secciones mayores o iguales a 3.00 m x 3.00 m se usará pernos de 7 pies, ver figura 7 donde se indica la forma correcta de instalar un perno Split Set (Estándar de Sostenimiento - Yauricocha, 2017).

Gráfico N° 7: Forma correcta de instalar un perno Split Set



Fuente: (Departamento de Geomecánica-Yauricocha, 2019)

➤ **Perno Helicoidal**

Son pernos de anclaje consistente en barras de acero helicoidal; en Sociedad Minera Corona S.A. se utilizan de 19 mm de diámetro, con longitudes de 5 pies (para secciones menores o iguales a 2.50 m x 2.50 m) y 7 pies (para secciones mayores o iguales a 3.0 m x 3.0 m), uno de los extremos de la barra con un ángulo de 45°. Se utiliza platinas de acero (placa de sujeción), de 20 cm x 20 cm y 5 mm de tuerca con cabeza esférica para pernos de barra helicoidal.

**Especificación del material cementante:**

Se usa cartuchos de resina (dimensiones: 28 mm x 305 mm) de fraguado rápido de 1 a 3 minutos.

Se usa cartuchos de cemento (dimensiones: 30 mm x 305 mm) de fraguado rápido de 8 horas.

### **Espaciamiento entre pernos Helicoidales**

Estará en función de la recomendación del Departamento de Geomecánica a 1.50 m x 1.50 m como máximo como enfoque sistemático.

### **Diámetros de las brocas y el Perno Helicoidal**

- Diámetro del perno (mm): 19
- Diámetro de la broca (mm): 36
- Diferencia (mm): 17

### **Capacidad de carga de los Pernos Helicoidales:**

Mínimo: 2.5 a 3.0 Ton/Pie (medido por la prueba "Pull Test").

### **Dosificación para la instalación:**

Para labores secas a húmedas:

- ✓ Para pernos de 5 pies se usará 1 resina y 4 cartuchos de cemento.
- ✓ Para pernos de 7 pies se usará 2 resinas y 5 cartuchos de cemento.

Gráfico N° 8: Perno Helicoidal en zonas húmedas



Fuente: (Estándar de Sostenimiento-Yauricocha, 2017)

- ✓ Para labores húmedas se usarán cartuchos de resina en toda la longitud del taladro (ver figura 9).

Gráfico N° 9: Perno Helicoidal en zonas con goteo



Fuente: (Estándar de Sostenimiento-Yauricocha, 2017)

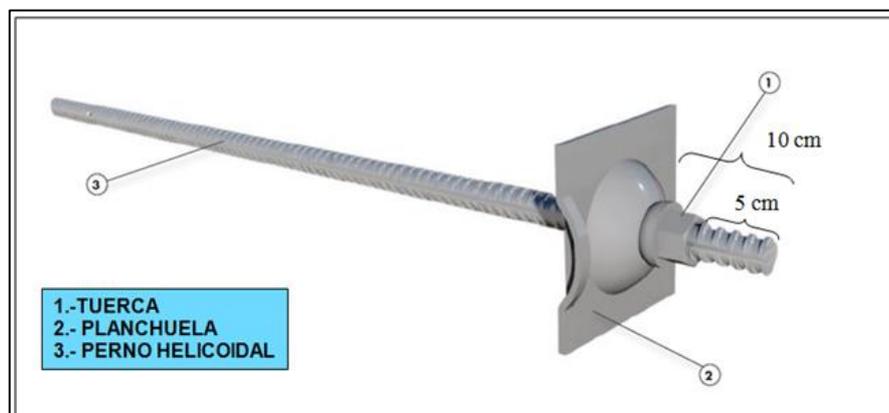
**Tiempo de hidratación de cartuchos de cemento**

- ✓ 10 a 15 minutos hasta que deje de burbujear.

**Colilla del perno que sobresale:**

- ✓ La colilla que sobresale de la pared del macizo rocoso debe ser de 10 cm (ver figura 10). Asimismo la colilla que sobresale desde el final de la tuerca será de 5 cm.

Gráfico N° 10: Perno Helicoidal en zonas con goteo permanente



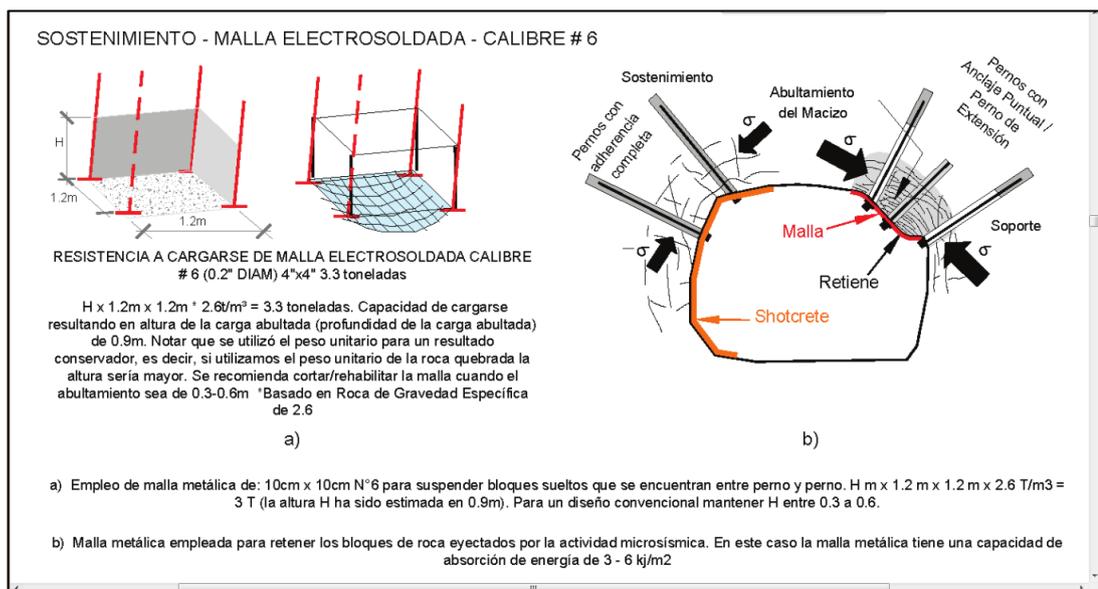
Fuente: (Estándar de Sostenimiento-Yauricocha, 2017)

### ➤ Malla metálica

La malla metálica es un sostenimiento de seguridad (Hoek, Kaiser y Bawden, 1997) que deberá ser capaz de soportar los fragmentos de roca (pequeños) que se pueden desprender entre un perno a otro, es muy efectiva y económica comparada con otros sistemas de retención de rocas sueltas.

Este tipo de sostenimiento no está diseñado para soportar cargas estáticas y/o dinámicas, pero en combinación con otros sistemas de soporte es capaz de contener las cargas mencionadas (ver figura 11).

Gráfico N° 11: Capacidad de la malla metálica para retener rocas sueltas entre pernos



Fuente: (OSINERGMIN, 2017)

En Sociedad Minera Corona S.A. el estándar utilizado es:

La malla tiene que ser de alambre N° 8, las “cocadas” tienen que ser de 10 cm x 10 cm, la flexibilidad tiene que ser maleable.

### Traslape de las malla electrosoldada

✓ Deberán traslaparse 3 “cocadas” y el perno será colocado en el medio del traslape.

➤ **Concreto lanzado**

El concreto lanzado es un mortero que es transportado a través de mangueras y lanzado neumáticamente sobre la superficie a recubrir, fraguando, endureciendo y adquiriendo considerable resistencia. Se utilizan dos procesos de mezclado: mezcla seca y mezcla húmeda, cada una con características propias. La tendencia actual es emplear el concreto reforzado con fibras de acero y/o sintéticas (Quispe Matos, 2018).

En Sociedad Minera Corona S.A. la dosificación por metro cubico de mezcla (m<sup>3</sup>), en condiciones normales es:

- ✓ Relación agua cemento ( a/c ) : 0.45
- ✓ Cemento : 425 kg (10 bolsas).
- ✓ Fibras:
  - Tipo de Macizo rocoso III-A : 20 kg
  - Tipo de Macizo rocoso III-B : 25 kg
  - Tipo de Macizo rocoso IV-A : 30 kg
- ✓ Acelerante de fraguado : 18 lt
- ✓ Agua : 180 lt

**Para el lanzado del Shotcrete:**

Se sitúa la boquilla de la manguera de la pistola a una distancia entre 1.00 m y 1.50 m. con el objeto de evitar el incremento del rebote del material (ver figura 12).

**Del Rebote:**

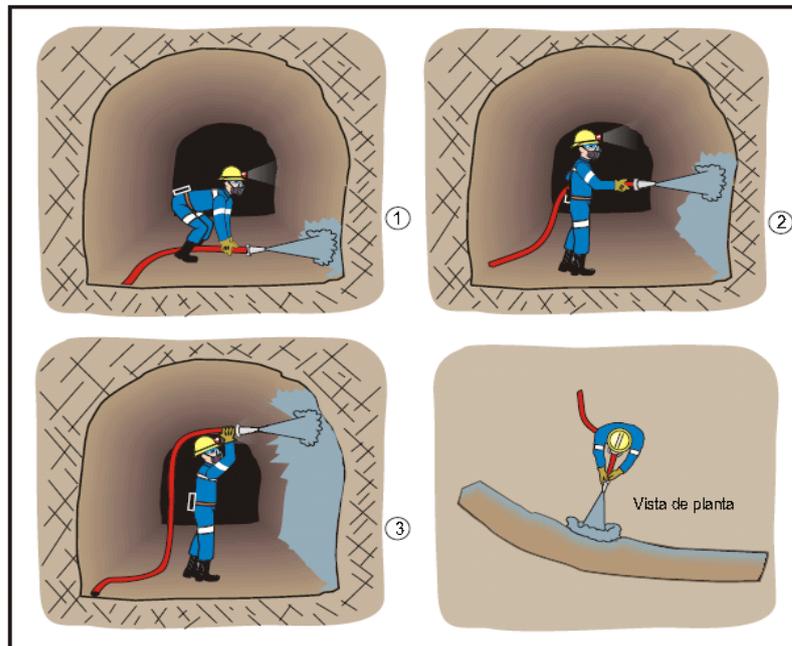
Vía húmeda: con un máximo de 10%.

**De la resistencia del Shotcrete**

Condiciones normales: 210 Kg/cm<sup>2</sup>

Condiciones especiales, según recomendación geomecánica.

Gráfico N° 12: Posición correcta para el lanzamiento de Shotcrete



Fuente: (Estándar de Sostenimiento-Yauricocha, 2017)

#### ➤ Cable Bolting

Generalmente están hechos de alambre de acero trenzado, fijados con cemento, utilizados en grandes aberturas subterráneas, en condiciones de roca dura, fracturada donde el RMR es mayor o igual a 40 (Velasquez Mamani, 2019).

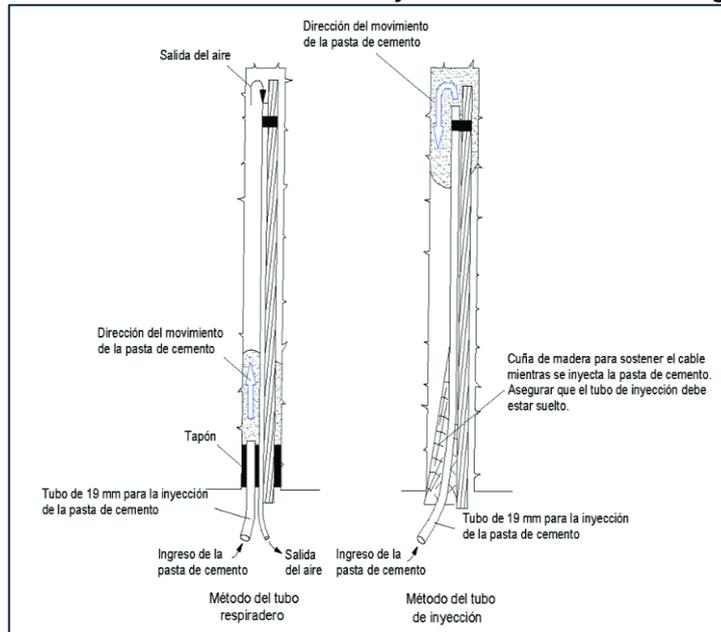
En tajeos de grandes dimensiones, los cables de anclaje son muy efectivos para detener el movimiento de la roca encajonante, generalmente son de tipo cementado, siendo el componente débil el sistema cemento/cable, la solución son los cables bulbados que dan un mayor fuerza de arranque (OSINERGMIN, 2017).

La elección de la bomba adecuada es fundamental para la inyección de pasta de cemento muy viscosa, en el proyecto se utilizó la bomba de inyección P12-Sprayboy – Putzmeister (baja relación agua/cemento).

El diámetro mínimo de la manguera de purga deberá permitir la circulación de la pasta de cemento por ella (ver figura 13). El retorno

de la pasta de cemento por la manguera de purga, indica que el taladro ha quedado completamente inyectado (OSINERGMIN, 2017).

**Gráfico N° 13: Métodos de inyección de cables Bolting**



Fuente: (OSINERGMIN, 2017)

El cable Bolting está formado por cuña barril, platina de acero, cable de acero, tubo de inyección, proporciona una capacidad de tensión de 25 Ton/mts.

**Gráfico N° 14: Configuración de cables Bolting**

|  |  |                              |
|--|--|------------------------------|
| Alta capacidad al corte<br>(Mathews et al, 1986) |  | Tubería de acero<br>Concreto |
| Trenzado tipo jaula<br>(Hutchins et al, 1990)    |  | Antinodo<br>Nodo             |
| Trenzado embulbado<br>(Garford, 1990)            |  | Antinodo<br>Nodo             |
| Trenzado tipo remalle<br>(Windsor, 1986)         |  | Antinodo<br>Nodo             |

Fuente: (OSINERGMIN, 2017)

➤ **Winche de Izaje**

Un Winche de Izaje es una máquina utilizada para subir, bajar una carga, material o al personal, su funcionamiento es algo similar a los ascensores de los hospitales u otros edificios, siendo así el principal medio de transporte en una mina subterránea (Loyola Malqui, 2013).

**Componentes de un Winche de Izaje:**

**a) Tambora**

Son cilindros metálicos donde se enrolla el cable de acero, pueden ser de dos tamboras, donde uno alternadamente del otro sube y baja en conjunto al realizar los movimientos de izaje.

*Gráfico N° 15: Tambora en Winche de Servicios-Yauricocha*



Fuente: Elaboración propia

**b) Motor**

Es el que realiza la acción mecánica de izaje, su capacidad depende del peso de la carga que va izar y de la profundidad del pique.

Gráfico N° 16: Motor en Winche de Servicios-Yauricocha



Fuente: Elaboración propia

**c) Sistema preventivo de control, Lilly Control, frenos**

Ante una súbita desaceleración de velocidad en el izaje, estos dispositivos regulan la velocidad, actuando como unos sistemas de emergencia en el sistema de izaje (Loyola, 2013, p. 62).

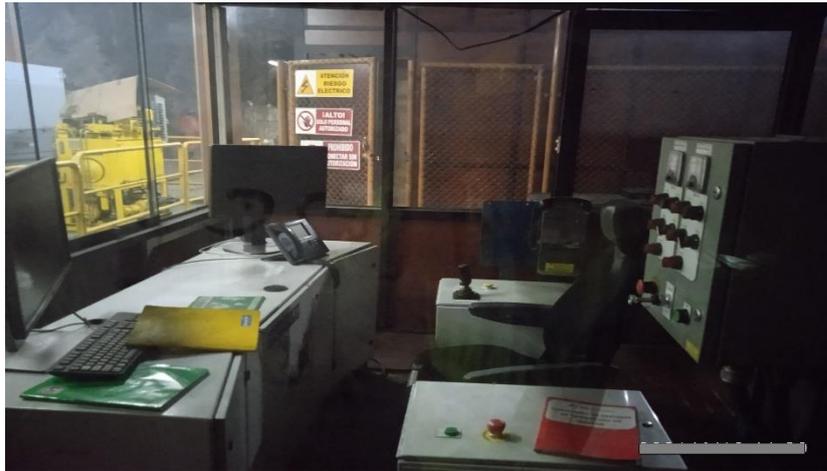
**d) Grapas de seguridad o Leonas**

En caso ocurriese la rotura del cable de acero en el izaje, las leonas actúan como garras que enganchan la jaula o skip en la guíadera, siendo un sistema de emergencia muy importante.

**e) Sistema de control del Winche**

Son los mecanismos de manejo y control del Winche, con lo cual se sube o baja la jaula o skip, el cual es operado por un personal autorizado y capacitado denominado winchero.

Gráfico N° 17: Cabina de control en Winche de Servicios-Yauricocha



Fuente: Elaboración propia

#### **f) Cables de Izaje**

Generalmente son fabricados de cable de acero trenzados en forma de hélice llamados torones los cuales va de 3 a más torones alrededor de un alma, los mismos que realizan el trabajo de izar los skips o jaulas (Loyola, 2013, p. 63).

#### **g) Jaula, Baldes o Skips**

Las jaulas cumplen la función de transportar al personal, y los baldes u skips transportan el mineral o desmonte. La capacidad de la jaula o skip u balde, está en función de los requerimientos de producción que la mina requiere. Para el proyecto del Pique Yauricocha se utilizarán dos skips de 11.8 toneladas y una jaula de dos pisos para 30 personas por cada viaje.

#### **h) Polea**

Es una rueda que gira alrededor de un eje central, por el que pasa el cable de acero, su función es permitir el enrollado adecuado del cable de acero en la tambora, así como el trabajo de subir o bajar la jaula u skip siendo el soporte y guía del cable.

Gráfico N° 18: Polea en Winche de Producción- Yauricocha



Fuente: Elaboración propia

### 2.3. Definición de términos básicos

#### a. Factor de Seguridad:

Es una medición determinística de la relación entre la fuerza resistente (soporta) y la fuerza actuante, utilizado en el diseño de estructuras de ingeniería (OSINERGMIN, 2017).

#### b. Geomecánica:

Es el área que realiza la evaluación del macizo rocoso, controlando los desprendimientos de roca en la construcción de excavaciones y determinar el sostenimiento para la seguridad del personal (OSINERGMIN, 2017).

#### c. Macizo Rocoso:

Es la combinación de roca intacta y el conjunto de discontinuidades de forma heterogénea otorgándole un comportamiento no continuo que condiciona su comportamiento hidráulico y geomecánico (Gonzales de Vallejo, 2007).

#### d. Mapeo geomecánico:

Utilizando las herramientas de picota de geólogo, brújula, el martillo de Schmidt, se da la clasificación del tipo de macizo rocoso, con ello el mapeo geomecánico consiste en la descripción gráficamente, su condición y datos considerando las diaclasas, el medio ambiente del macizo rocoso (Quispe Matos, 2018).

**e. Q de Barton:**

Fue desarrollado en Escandinavia por Barton, Lien y Lunde en 1974, para el diseño de excavaciones subterráneas determinando el sostenimiento correspondiente (Gonzales de Vallejo, 1984).

**f. RMR:**

Según Gonzales de Vallejo (1984) El RMR es una clasificación del macizo rocoso desarrollada por Bieniawski en 1973 relacionando índices de calidad del macizo rocoso y sostenimiento de túneles.

**g. RQD:**

Es un índice que determina la calidad de la roca y sostenimiento, desarrollada por Deere en 1967, a partir del porcentaje de trozos de testigo para determinar en qué grado está fracturado el macizo rocoso (Ramirez Oyanguren, y otros, 2004).

**h. Sostenimiento:**

El sostenimiento evita que la roca se desplace, manteniendo las excavaciones abiertas, para la seguridad del personal que trabaje (Ramirez Oyanguren, y otros, 2004).

**i. Sublevel Caving:**

Es un método de explotación que se basa en la utilización del flujo gravitacional del mineral que origina subsidencia en el área explotada (Sandoval Bonilla, 2018).

**j. Bomba de Inyección (Sprayboy- Putzmeister):**

Es una pequeña bomba de mortero ideal para el mortero adhesivo, enlucidos de capa fina, morteros resistentes al fuego. Mezcla, bombea y proyecta desde una sola tolva, adecuado para la inyección de concreto en la instalación de Cable Bolting.

**k. Gata tensadora:**

Herramienta de poder destinado para casi cualquier aplicación (elevación, empuje, tracción, flexión o retención). Enerpac es la marca utilizada en este proyecto, para la tensión de los Cable Bolting, de máxima presión de 10 000 psi y una capacidad del cilindro de hasta 10 Ton.

#### **I. Winche de Izaje:**

Es una máquina utilizada en la minería subterránea, para el transporte de personal, materiales, mineral y desmonte, a través de jaulas y skips, su funcionamiento es algo similar como los ascensores (Loyola Malqui, 2013).

### **2.4. Formulación de Hipótesis**

#### **2.4.1. Hipótesis General**

La evaluación geomecánica influye verdaderamente para determinar el tipo de sostenimiento de la Cámara para el Winche de Producción del Nv. 720, en la unidad económica Yauricocha.

#### **2.4.2. Hipótesis Específica**

- El factor de seguridad influye significativamente en el sostenimiento de la Cámara para el Winche Producción.
- La evaluación geomecánica influye directamente en la excavación y sostenimiento de la Cámara para el Winche de Producción sin que se tenga problemas de inestabilidad.

### **2.5. Identificación de Variables**

#### **2.5.1. Variable independiente**

Evaluación geomecánica.

#### **2.5.2. Variable dependiente**

Tipo de sostenimiento.

##### **a. Dimensiones**

Factor de Seguridad

Perforación y voladura; control geomecánico

##### **b. Indicadores**

Clasificación geomecánica RMR

Clasificación geomecánica Q

Clasificación geomecánica GSI

Voladura controlada y sostenimiento

## **2.6. Definición Operacional de variables e indicadores**

CUADRO N° 4: Definición operacional de Variables e Indicadores

| VARIABLES                     | DEFINICION CONCEPTUAL  | DIMENSIONES                                       | INDICADORES  |
|-------------------------------|--|---|--|
| VI:<br>Evaluación Geomecánica | Es el estudio de las características físicas y mecánicas del macizo rocoso, determinando su comportamiento en procesos de esfuerzos, presión, temperatura (Salazar, 2020). | Factor de Seguridad                               | Clasificación geomecánica RMR<br>Clasificación geomecánica Q<br>Clasificación geomecánica GSI  |
| VD:<br>Sostenimiento          | El sostenimiento es un conjunto de soportes para estabilizar la roca suelta, controlando los movimientos y las fallas en los bordes de una excavación (Quispe, 2018).      | Perforación y Voladura<br><br>Control Geomecánico | Voladura controlada<br>Sostenimiento con Split Set<br>Sostenimiento con Perno Helicoidal<br><br>Sostenimiento con Shotcrete<br><br>Sostenimiento con Cable Bolting |

Fuente: Elaboración propia

## CAPÍTULO III

### METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

#### 3.1. Tipo de investigación

El presente estudio se orienta a una investigación del tipo **descriptivo**, donde se describe las características geomecánicas de la roca para obtener la calidad de la misma y **correlacional**, porque mide la relación entre calidad de la roca y la estabilidad de las excavaciones.

#### 3.2. Nivel de investigación

El nivel de investigación es “descriptivo y explicativo no experimental” por qué se ha basado en conceptos, categorías, sucesos ocurridos.

#### 3.3. Método de investigación

En el presente trabajo de investigación se utilizó el método científico, y como técnica el tipo deductivo ya que parte de datos generales para llegar a una conclusión en particular.

#### 3.4. Diseño de investigación

Corresponde a un tipo de diseño no experimental-transeccional.

#### 3.5. Población y muestra

Población

La población está constituida por las labores de Sociedad Minera Corona S.A.-Unidad Yauricocha.

### **3.5.1. Muestra**

La muestra es la Cámara para el Winche de Producción del Pique Yauricocha que se ubica en el Nv. 720, es allí donde se realizó la presente investigación.

## **3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

### **3.6.1. Técnicas**

- Observación del participante: El trabajo se realizó en conjunto con el personal de Geomecánica de la compañía, al realizar la evaluación geomecánica.
- El Sistema de Registro: A través de una libreta de campo, donde se registró los datos de evaluación geomecánica, los procedimientos en la perforación y voladura de la Cámara Winche.
- Revisión de fuentes bibliográficas referidas al tema de investigación (libros, informe de tesis, revistas, publicaciones, etc.). El tema en relación a evaluación Geomecánica, perforación, voladura y sostenimiento.

### **3.6.2. Instrumentos**

- Guías de observación.
- Diario de campo.
- Guía de análisis documental.

## **3.7. Técnicas de procesamiento y análisis de datos**

Para el procesamiento de los datos se usaron técnicas de registro, con la ayuda de programas de computación; obtenida la información, se procedió al análisis de los datos y su interpretación se registró y tabuló mediante técnicas e instrumentos de recolección de datos.

### **3.8. Tratamiento estadístico**

Para la presente investigación se utilizó el software de Microsoft Excel, Microsoft Word, AutoCAD, el programa ROCLAB V.1.032 de Rocscience Inc. (2011) para saber el criterio de falla de Hoek & Brown (2002, 2006), el programa UNWEDGE V.3.004 de Rocscience Inc. (2004) para analizar la formación de cuñas y la estabilidad de las mismas, se ha utilizado el programa de elementos finitos PHASE2 V.7.013 de Rocscience Inc. (2010) para analizar las condiciones de esfuerzos y deformaciones alrededor de la excavación de la Cámara Winche, el programa Roc Support Versión 3.002 de Rocscience Inc (2004), el cual permite utilizar los parámetros de resistencia de la roca intacta y masa rocosa para estimar el grado de estabilidad mediante la región plástica y el requerimiento de sostenimiento para mantener condiciones de estabilidad satisfactorias.

### **3.9. Orientación ética filosófica y epistémica**

Como investigador, se demuestra en este proyecto de investigación, actitudes de orden objetivo, reflexivo, moral, cognoscitivo mostrando también una actitud abierta al proceso de conocer y de aprender e investigar los hechos, situaciones o problemas de diversa naturaleza.

## **CAPÍTULO IV**

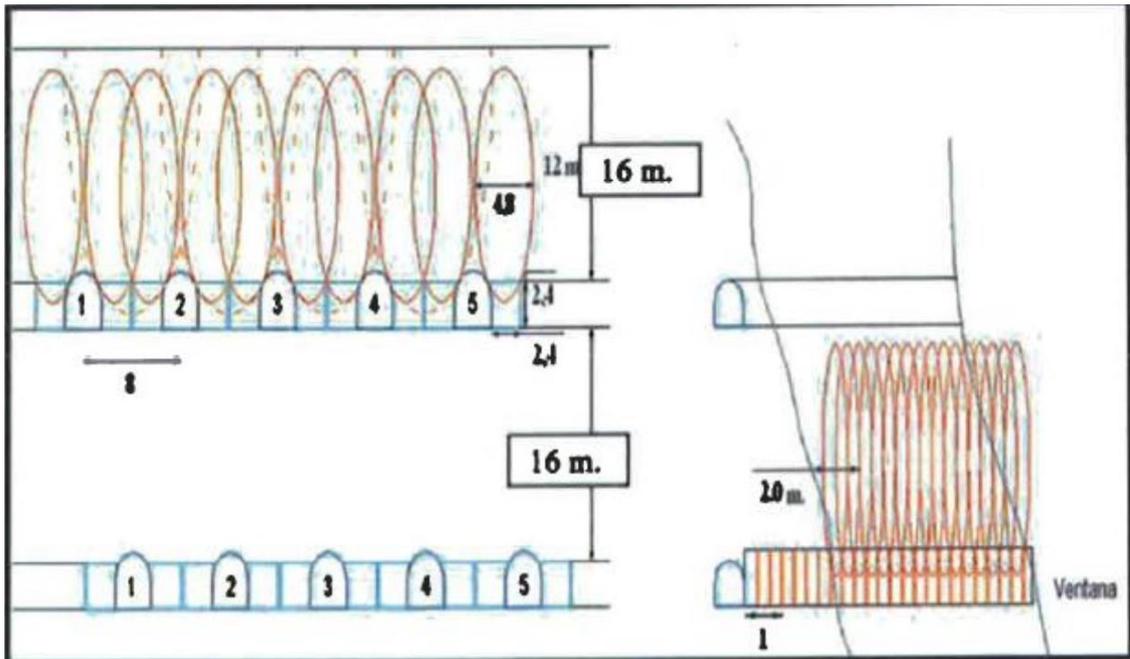
### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

#### **4.1. Descripción del trabajo de Campo**

##### **4.1.1. Método de Explotación de la mina Yauricocha**

El método utilizado en la mina Yauricocha es el Sub Level Caving, hundimiento por sub niveles, donde el mineral extraído crea subsidencia en el área explotado por este método. Consiste en desarrollar ventanas paralelas separadas cada 8 m, de eje a eje en la horizontal del subnivel, llegando desde 8 m hasta 19 m. El método consiste en la provocación del mineral, mediante la perforación en abanico desde los subniveles hacia arriba; se extrae el mineral disparado hasta que ingrese el estéril tal que la ley extraída ya no es económica. Una vez realizado la extracción este se repite en la siguiente ventana (Quispe Matos, 2018 pág. 49), ver figura 19.

Gráfico N° 19: Método de explotación Sub Level Caving

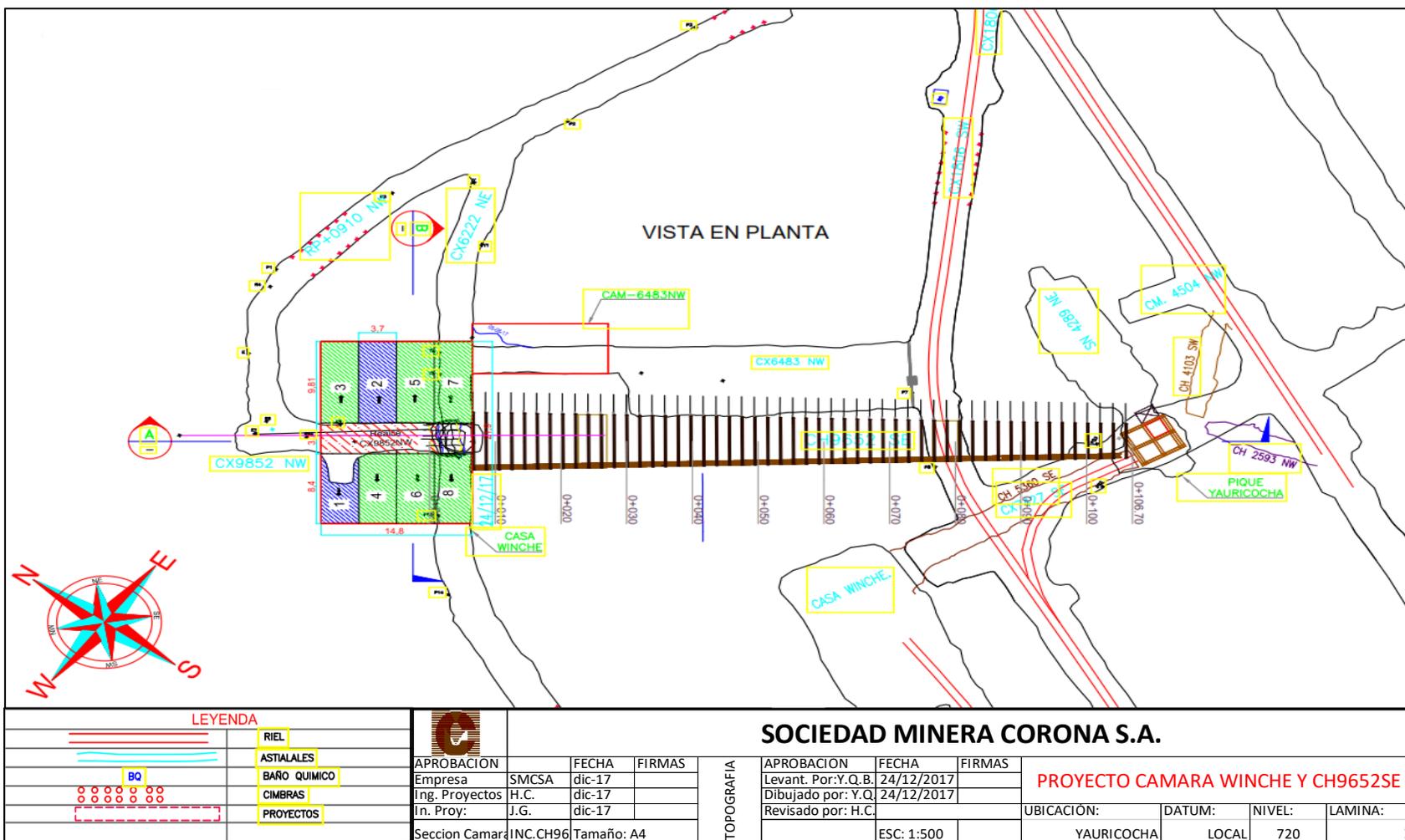


Fuente: (Departamento de Proyectos- Yauricocha, 2019)

#### 4.1.2. Ubicación de la Cámara para el Winche de Producción

El proyecto, de la Cámara para el Winche de Producción, está ubicado en el Nv. 720, acceso al Pique Yauricocha (ver figura 20). Donde se muestra la ubicación, con vista en planta, donde se indica que para llegar a la Cámara Winche debemos de llegar a la Rampa 0910, y de ahí subiendo, se llega al Crucero 9852 NW y también por el Crucero 6222 NE, dan acceso al frente de perforación de la Cámara Winche.

Gráfico N° 20: Ubicación de la Cámara Winche de Producción

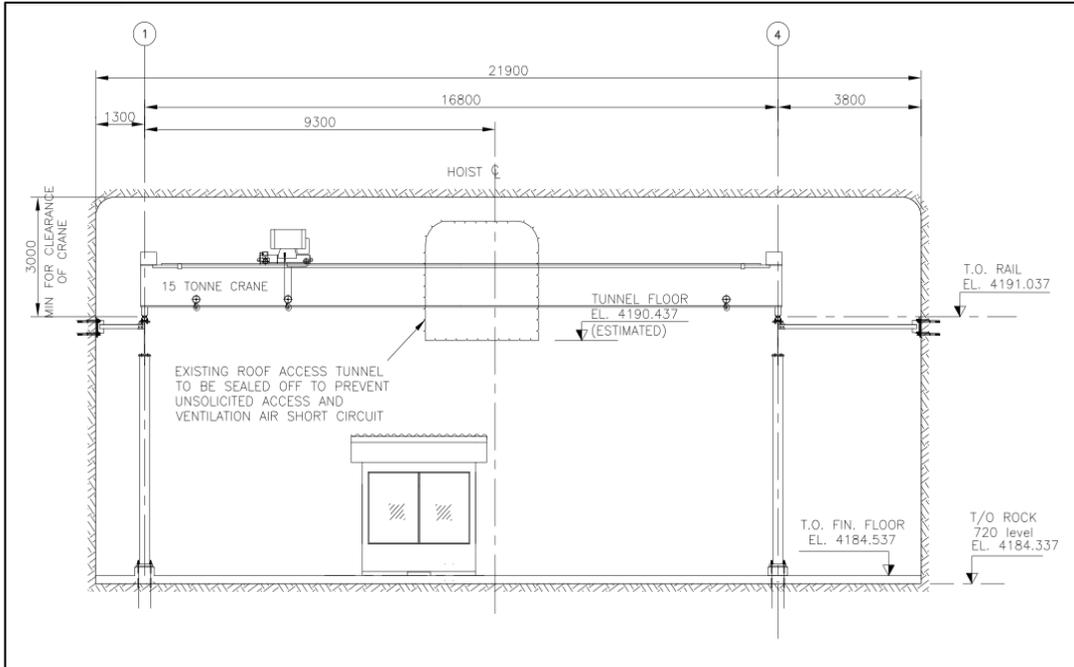


Fuente: (Área de Topografía DC Mining S.A., 2019)

#### 4.1.3. Diseño de la Cámara para el Winche de Producción

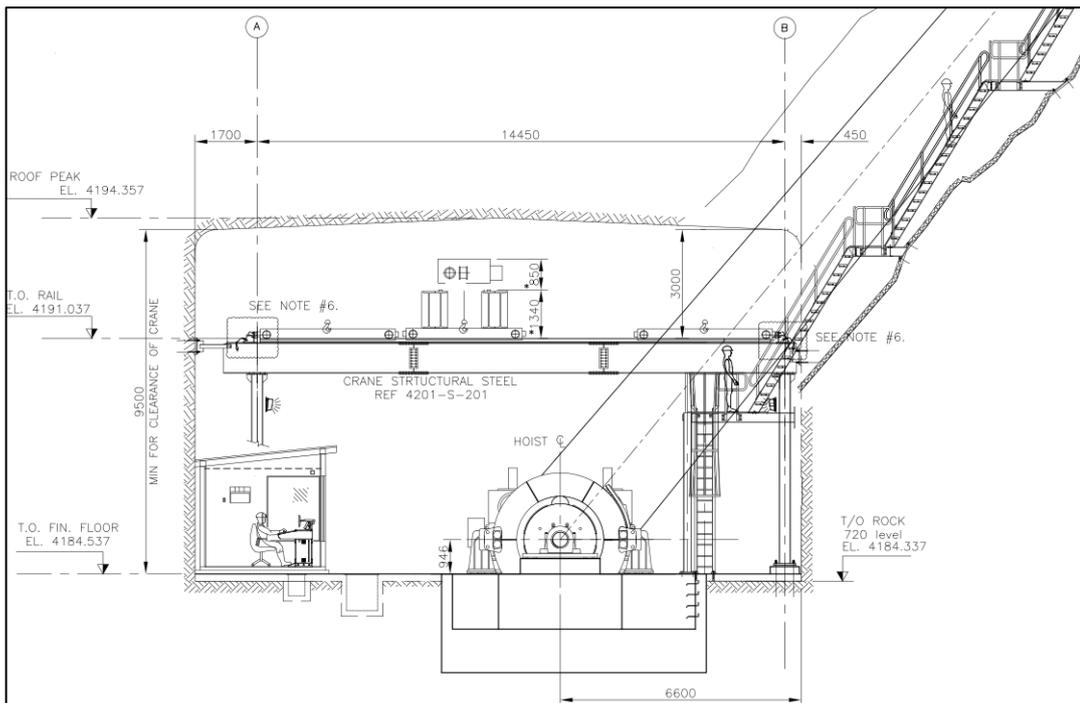
Para efectos de diseño se consideró la siguiente sección de la Cámara para el Winche de Producción: 21.9 metros de largo, 16.6 metros de ancho y 9.6 metros de altura, ver figura 21, figura 22, figura 23.

Gráfico N° 21: Diseño de la Cámara Winche Sección A-A Lado Norte



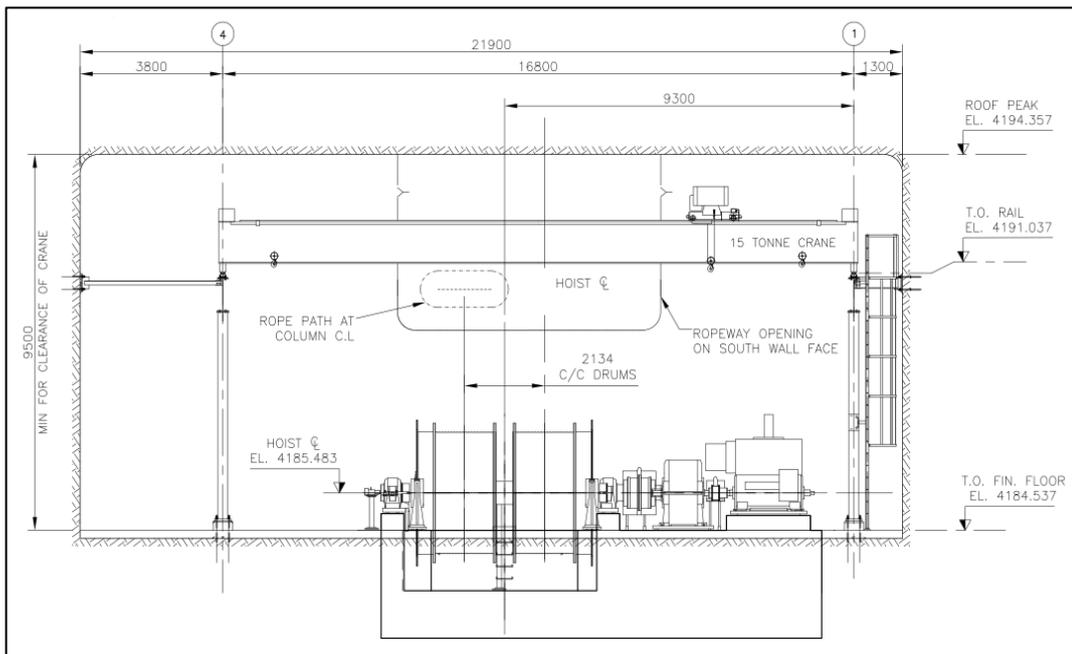
Fuente: (Departamento de Proyectos- Yauricocha, 2019)

Gráfico N° 22: Diseño de la Cámara Winche sección B-B Lado Este



Fuente: (Departamento de Proyectos- Yauricocha, 2019)

Gráfico N° 23: Diseño de la Cámara Winche sección C-C Lado Sur



Fuente: (Departamento de Proyectos- Yauricocha, 2019)

Teniendo el diseño, en primera instancia se realiza la evaluación geomecánica del macizo rocoso de la Cámara para el Winche de Producción del Nv. 720 para poder determinar luego el tipo de sostenimiento.

#### 4.1.4. Mapeo Geomecánico de la Cámara Winche

La caracterización de la masa rocosa, se realizó a partir del mapeo geotécnico de campo, por el método directo por línea de detalle y celda de detalle esto radica en el tipo de evaluación a realizar y el grado de detalle en labores permanentes. Este método registra las discontinuidades expuestas en las paredes del macizo rocoso donde se realizará la excavación de la Cámara Winche. El mapeo consiste en establecer una línea en la pared y de allí se registran todas las estructuras o discontinuidades que intersectan la línea, y se procede a registrar cada discontinuidad, persistencia, apertura, relleno, rugosidad, resistencia, meteorización, presencia de agua. Mediante el Mapeo por celda de detalle se identifican las características del macizo rocoso, las características de las principales familias de discontinuidades. Todo ello para

definir los parámetros que permitirán clasificar el macizo rocoso mediante el sistema RMR y GSI, así mismo permitirá la clasificación del macizo rocoso en el sistema Q mediante la definición de parámetros de RQD, Jn, Jr, Jw y SRF.

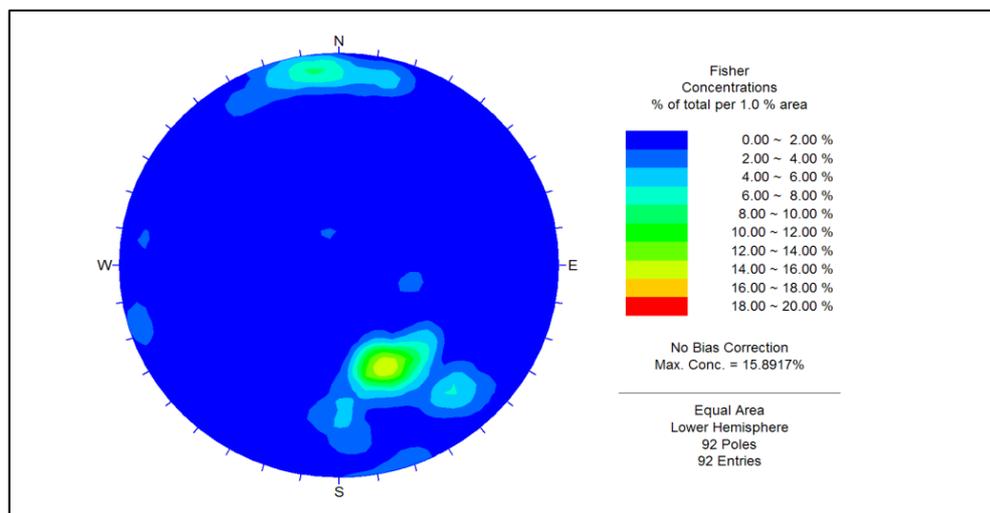
#### 4.1.5. Aspectos Litológicos de la Cámara Winche

Según la información proporcionada por el área de geología de la mina Yauricocha, dicha excavación se halla dentro de una masa rocosa conformada por calizas negruzcas de textura afanítica.

#### 4.1.1. Aspectos estructurales

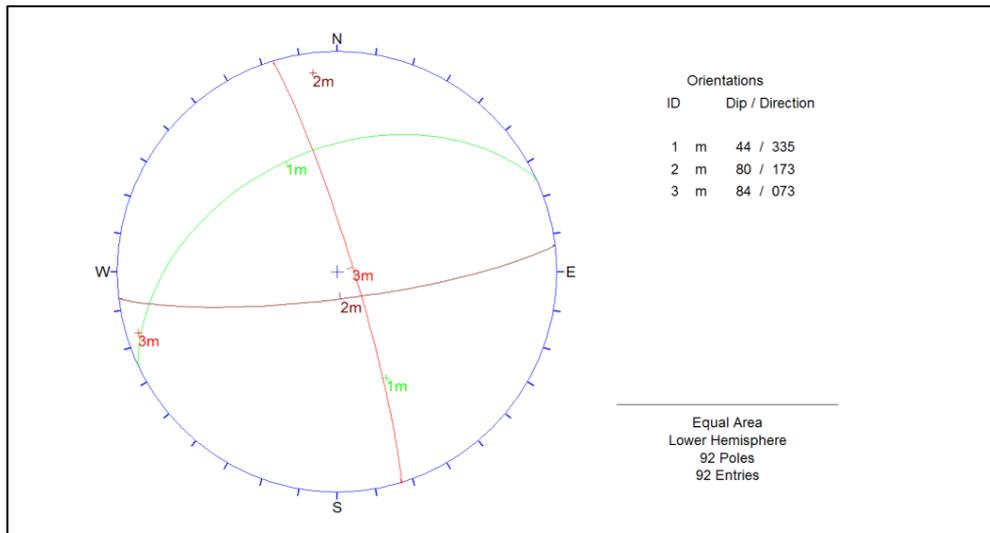
El personal del Departamento de Geomecánica de la mina Yauricocha realizó un levantamiento de orientación de discontinuidades en la excavación de la Cámara Winche. También el personal de Geología suministró el levantamiento de discontinuidades estructurales de las excavaciones actuales del área del Pique Interno en el Nv. 720. Con toda esta información se han elaborado los diagramas estereográficos y de roseta de la masa rocosa que se observa en la figura 24, figura 25 y figura 26.

Gráfico N° 24: Diagrama estereográfico de los sistemas principales de estructuras



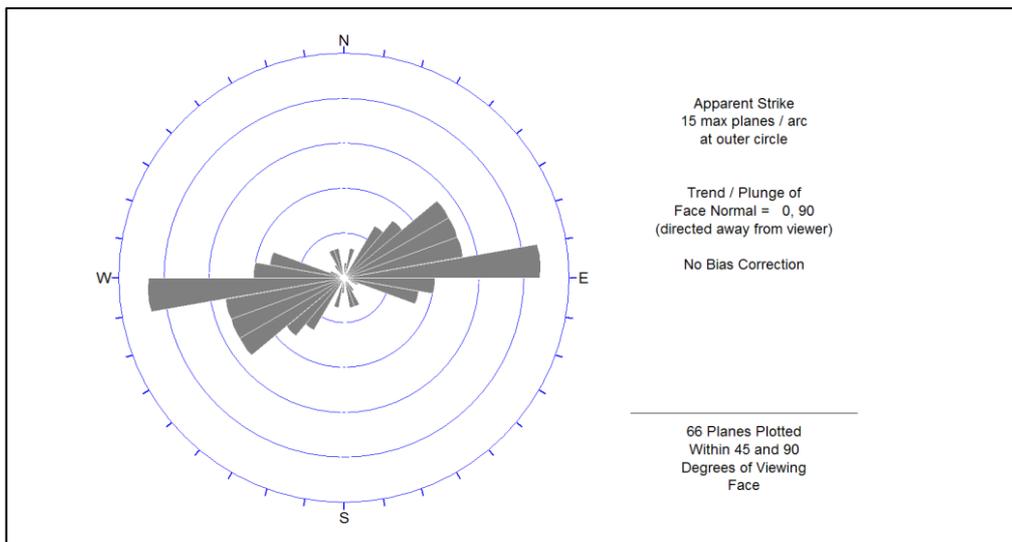
Fuente: (Departamento de Proyectos- Yauricocha, 2019)

Gráfico N° 25: Diagrama estereográfico de planos de los sistemas principales de estructuras



Fuente: (Departamento de Proyectos- Yauricocha, 2019)

Gráfico N° 26: Diagrama de roseta de los sistemas principales de estructuras



Fuente: (Departamento de Proyectos- Yauricocha, 2019)

De acuerdo a las figuras indicadas, el arreglo estructural de la masa rocosa está conformado por dos sistemas principales de discontinuidades estructurales: Sistema 1, que es el dominante, tiene rumbo NEE y moderado buzamiento al NW; y Sistema 2 que tiene rumbo E-W y alto buzamiento al S. Hay un tercer Sistema 3 de menor importancia, de rumbo NNW y alto buzamiento al NE.

El personal del Departamento de Geomecánica por su lado efectuó la clasificación geomecánica de la masa rocosa realizando estaciones de mapeo por celda de detalle y con ello han elaborado una zonificación geomecánica de la Cámara Winche en el Nv. 720.

## 4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados

### 4.2.1. Análisis de datos con el programa ROCLAB V 1.032

Utilizando el programa ROCLAB V.1.032 de Rocscience Inc. (2011) se determinó el valor de la constante “mi” de la roca (caliza), del criterio de falla de Hoek & Brown (2002, 2006) se ha estimado en 10. La densidad de la roca intacta se ha determinado en laboratorio de mecánica de rocas en 2.70 t/m. Los parámetros de resistencia al corte del criterio de falla Mohr Coulomb para las discontinuidades en calizas, los estimamos conservadoramente de la siguiente manera: cohesión 50 kPa y ángulo de fricción 30°.

Los parámetros de resistencia de la masa rocosa, se han estimado utilizando el criterio de falla de Hoek & Brown (2002, 2006), tomando como datos de entrada la calidad de la masa rocosa para condiciones húmedas y los valores de resistencia compresiva uniaxial (ver tabla 5). Los parámetros de la masa rocosa resultantes son los siguientes:

CUADRO N° 5: Propiedades de resistencia de la Caliza

| Litología | GSI | $\sigma_c$<br>(MPa) | $m_i$ | $\gamma$<br>(t/m <sup>3</sup> ) | $m_b$ | $s$       | Emr<br>(MPa) | $\nu$ |
|-----------|-----|---------------------|-------|---------------------------------|-------|-----------|--------------|-------|
| Caliza    | 52  | 75                  | 10    | 2.70                            | 1.173 | 0.0021253 | 7314         | 0.26  |

Fuente: (Departamento de Proyectos- Yauricocha, 2019)

### 4.2.2. Esfuerzos in-situ

Se ha estimado el esfuerzo vertical a partir del criterio de carga litostática (Hoek & Brown, 1978), considerando una profundidad de 500 m. La Cámara para el Winche de Producción, está ubicada a una altitud de 4,150 m.s.n.m. en

el Nv. 720. Entonces los esfuerzos de pre-minado determinados son (ver tabla 6 y tabla 7):

*CUADRO N° 6: Esfuerzo vertical en la Cámara Winche*

| Nivel      | Profundidad (Z) | Esfuerzo Vertical (Mpa) |
|------------|-----------------|-------------------------|
| 300        | 40              | 1.1                     |
| 360        | 100             | 2.7                     |
| 410        | 150             | 4.1                     |
| 465        | 205             | 5.5                     |
| 520        | 260             | 7                       |
| 575        | 315             | 8.5                     |
| 620        | 360             | 9.7                     |
| 670        | 410             | 11.1                    |
| <b>720</b> | <b>500</b>      | <b>13.5</b>             |
| 770        | 510             | 13.8                    |
| 820        | 560             | 15.1                    |
| 870        | 610             | 16.5                    |
| 920        | 660             | 17.8                    |

Fuente: (Departamento de Proyectos- Yauricocha, 2019)

Para determinar el valor de "K": utilizaremos la ecuación:

$$K=0.3+100/Z$$

$$K=0.3+100/500$$

$$K=0.5$$

Entonces el esfuerzo horizontal sería de acuerdo a la siguiente tabla:

*CUADRO N° 7: Esfuerzo horizontal en la Cámara Winche*

| Profundidad (Z) | Valor Medio de la relación de Esfuerzos (K) | Esfuerzo Horizontal (Mpa) |
|-----------------|---|---------------------------|
| 40              | 2.8   | 3.1                       |
| 100             | 1.3   | 3.5                       |
| 150             | 1   | 3.9                       |
| 205             | 0.8   | 4.4                       |
| 260             | 0.7   | 4.8                       |
| 315             | 0.6   | 5.3                       |
| 410             | 0.5   | 6                         |
| <b>500</b>      | <b>0.5</b>                                  | <b>6.9</b>                |
| 610             | 0.5   | 7.6                       |
| 660             | 0.5   | 8                         |

Fuente: (Departamento de Geomecánica-Sociedad Minera Corona, 2019)

#### 4.2.3. Determinación del RMR

Esta clasificación fue desarrollada en Sudáfrica a partir de 45 túneles por Bieniawski en 1973, relacionando índices de calidad con parámetros de diseño y de sostenimiento (Gonzales de Vallejo, 1984).

En el diseño del sostenimiento de un túnel, el valor primario se obtiene sumando los 5 primeros parámetros, este se modifica por el último parámetro, es decir la corrección por orientación de las discontinuidades, así se obtiene el RMR del macizo rocoso (Ramirez Oyanguren, y otros, 2004).

Ahora realizando el RMR, se ha de determinar los cinco parámetros, como se muestra a continuación:

- **Primer Parámetro:** Resistencia uniaxial de la matriz rocosa, el cual se determina con ensayos de compresión simple en laboratorios (Quispe, 2018).

La resistencia compresiva uniaxial de la roca intacta, se ha estimado a partir de la información proporcionada por el personal del área de Geomecánica y de los ensayos in-situ de chequeo con el martillo de geólogo (ver tabla 5). Según esto, se ha observado que la resistencia compresiva de la roca intacta varía entre 50 a 100 MPa por lo que podemos establecer como valor promedio 75 Mpa (ver tabla 8).

CUADRO N° 8: Resistencia uniaxial de la matriz rocosa

| Descripción | Resistencia de la Compresión (Mpa) |
|-------------|------------------------------------|
| Muy alta    | >250                               |
| Alta        | 100-250                            |
| Media       | 50-100                             |
| Baja        | 25-50                              |
| Muy Baja    | >25                                |

Fuente: (Departamento de Geomecánica-Yauricocha, 2019)

- **Segundo Parámetro:** Cálculo del RQD, este puede ser estimado a partir del número de discontinuidades por unidad de volumen, donde la masa rocosa está libre de arcilla (Gonzales de Vallejo, 1984):

La litología involucrada en la excavación de la Cámara para el Winche de Producción es de tipo sedimentario caliza. Los datos que se tomaron en campo fueron (ver tabla 9):

*CUADRO N° 9: Características del macizo rocoso de la Cámara Winche*

| Características identificadas       |                 | Descripción               | Valores                           |
|-------------------------------------|-----------------|---------------------------|-----------------------------------|
| Fracturamiento                      |                 | Regular                   | 13 frac. /metro                   |
| Resistencia de picota               |                 | Media                     | Se rompe con dos golpes de picota |
| Resistencia a compresión            |                 | Media                     | 50-100 Mpa                        |
| RQD                                 |                 | Media                     | 50-75%                            |
| Espaciado de la discontinuidad      |                 | Fracturado                | 0.06-0.2 m                        |
| Condición de las discontinuidades   | Persistencia    | Mediana                   | 3-10m                             |
|                                     | Apertura        | Cerrada                   | 0.1-1 mm                          |
|                                     | Rugosidad       | Ligeramente rugoso        |                                   |
|                                     | Relleno         | Suave <5 mm               |                                   |
|                                     | Intemperización | Ligeramente intemperizada |                                   |
| Agua subterránea                    |                 | Mojado                    |                                   |
| Orientación de las discontinuidades |                 | Regular                   | 50°-85°                           |

Fuente: Elaboración propia (2019)

Con estos datos se obtiene los siguientes parámetros y se realiza la tabla RMR de la Cámara Winche.

**Determinación del RQD:**

Tenemos 13 fracturas/metro (ver tabla 9), por lo tanto aplicando la teoría de

Palmstron tenemos:  $RQD = 115 - 3.3 \times J_v$

Donde  $J_v$  es la suma del número de fracturas.

$$RQD = 115 - 3.3 \times 13$$

$$RQD = 72.1\%$$

CUADRO N° 10: Índice de Calidad de la Roca RQD

| CALIDAD DE LA ROCA | RQD     |
|--------------------|---------|
| Muy mala           | 0-25 %  |
| Mala               | 25-50%  |
| Regular            | 50-75%  |
| Buena              | 75-90%  |
| Excelente          | 90-100% |

Fuente: (Departamento de Geomecánica-Yauricocha, 2019)

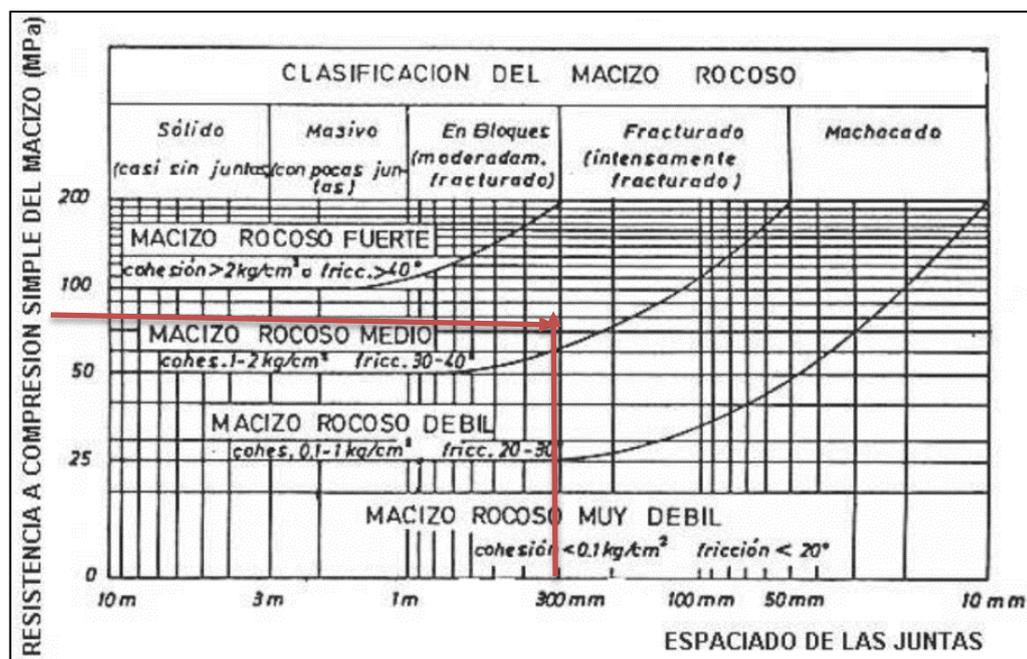
- **Tercer Parámetro:** Espaciado de las discontinuidades (ver tabla 9), es la distancia medida entre los planos de discontinuidad de una misma familia (ver tabla 11). (Ramirez Oyanguren, y otros, 2004).

CUADRO N° 11: Espaciado de las juntas

| Descripción           | Espaciado de las juntas | Tipos de macizo rocoso |
|-----------------------|-------------------------|------------------------|
| Muy ancho             | >2m                     | Sólido                 |
| Ancho                 | 0.6-2m                  | Masivo                 |
| Moderadamente cerrado | 0.2-0.6m                | En bloques             |
| Cerrado               | 0.06-0.2m               | Fracturado             |
| Muy cerrado           | <0.06m                  | Machacado              |

Fuente: (Quispe Matos, 2018)

Gráfico N° 27: Variación de la resistencia del macizo rocoso en relación entre la resistencia a compresión y el espaciado de las juntas



Fuente: (Ramirez Oyanguren, y otros, 2004)

- **Cuarto Parámetro:** Condición de las discontinuidades (ver tabla 9).
  1. La persistencia, es el tamaño de una discontinuidad (ver tabla 12).

*CUADRO N° 12: Descripción según la persistencia*

| Grado | Descripción | Separación de las caras | RMR |
|-------|-------------|-------------------------|-----|
| 1     | Muy pequeña | <1m                     | 6   |
| 2     | Pequeña     | 1-3m                    | 4   |
| 3     | Mediana     | 3-10m                   | 2   |
| 4     | Alta        | 10-20m                  | 1   |
| 5     | Muy Alta    | >20m                    | 0   |

Fuente: (Quispe Matos, 2018)

2. La apertura, es la separación perpendicular de las paredes de una discontinuidad abierta (ver tabla 13), en la cual el espacio intermedio tiene agua o aire.

*CUADRO N° 13: Descripción según la apertura*

| Grado | Descripción           | Separación de las caras | RMR |
|-------|-----------------------|-------------------------|-----|
| 1     | Abierta               | >5mm                    | 0   |
| 2     | Moderadamente abierta | 1-5mm                   | 2   |
| 3     | Cerrada               | 0.1-1mm                 | 4   |
| 4     | Cerrada               | <0.1mm                  | 5   |
| 5     | No tiene              | 0                       | 6   |

Fuente: (Quispe Matos, 2018)

3. La rugosidad, determina la resistencia al corte, disminuye cuando la abertura aumenta o el espesor del relleno (ver tabla 14).

*CUADRO N° 14: Descripción según la rugosidad*

| Grado | Descripción | RMR |
|-------|-------------|-----|
|-------|-------------|-----|

|   |                    |   |
|---|--------------------|---|
| 1 | Muy rugosa         | 5 |
| 2 | Rugosa             | 4 |
| 3 | Ligeramente rugosa | 3 |
| 4 | Suave              | 1 |
| 5 | Espejo de falla    | 0 |

Fuente: (Quispe Matos, 2018)

4. El relleno, es el material entre las paredes de una discontinuidad, con diferentes propiedades físicas y mecánicas (ver tabla 15).

*CUADRO N° 15: Descripción según el relleno*

| Grado | Descripción        | RMR |
|-------|--------------------|-----|
| 1     | Relleno suave >5mm | 0   |
| 2     | Relleno suave <5mm | 1   |
| 3     | Relleno duro >5mm  | 2   |
| 4     | Relleno duro <5mm  | 4   |
| 5     | Limpio             | 6   |

Fuente: (Quispe Matos, 2018)

5. La intemperización, condiciona las propiedades mecánicas de la roca (ver tabla 16); su resistencia puede disminuir dependiendo del proceso de meteorización, lo que aumenta la porosidad, permeabilidad.

*CUADRO N° 16: Descripción según la intemperización*

| Grado | Descripción                 | RMR |
|-------|-----------------------------|-----|
| 1     | Descompuesta                | 0   |
| 2     | Muy intemperizada           | 2   |
| 3     | Moderadamente intemperizada | 3   |
| 4     | Ligeramente intemperizada   | 5   |
| 5     | Sana                        | 6   |

Fuente: (Quispe Matos, 2018)

- **Quinto Parámetro:** Presencia de agua subterránea (ver tabla 9), tiene gran influencia en una excavación, en relación al espaciado, la discontinuidad y

la apertura puede controlar el flujo del agua hacia el interior de las excavaciones (ver tabla 17).

CUADRO N° 17: Descripción según la presencia de agua

| Grado | Descripción | RMR |
|-------|-------------|-----|
| 1     | Seco        | 15  |
| 2     | Húmedo      | 10  |
| 3     | Mojado      | 7   |
| 4     | Goteo       | 4   |
| 5     | Flujo       | 0   |

Fuente: (Quispe Matos, 2018)

- **Sexto Parámetro:** Orientación de las discontinuidades respecto a la excavación, es un factor determinante para elegir el tipo de sostenimiento (Ramirez Oyanguren, y otros, 2004).

Si una excavación avanza en forma paralela a un sistema de discontinuidades, la estabilidad será muy desfavorable, especialmente cuando el buzamiento es mayor a 45°.

Si una excavación avanza en forma perpendicular a un sistema de discontinuidades, la estabilidad será favorable.

CUADRO N° 18: Descripción según la orientación de las discontinuidades

| Rumbo perpendicular al eje del túnel |                             | Rumbo paralelo al eje del túnel |                      | Buzamiento 0°-20°<br>(Independiente del rumbo) |
|--------------------------------------|-----------------------------|---------------------------------|----------------------|--|
| Dirección según Buzamiento           | Dirección contra buzamiento | Buzamiento                      | Buzamiento           |  |
| Buzamiento 45°-90°                   | Buzamiento o 20°-45°        | Buzamiento o 45°-90°            | Buzamiento o 20°-45° |  |
| Muy favorable                        | Favorable                   | Regular                         | Desfavorable         | Desfavorable                                   |

Fuente: (Ramirez Oyanguren, y otros, 2004)

CUADRO N° 19: Valores según la orientación de las discontinuidades

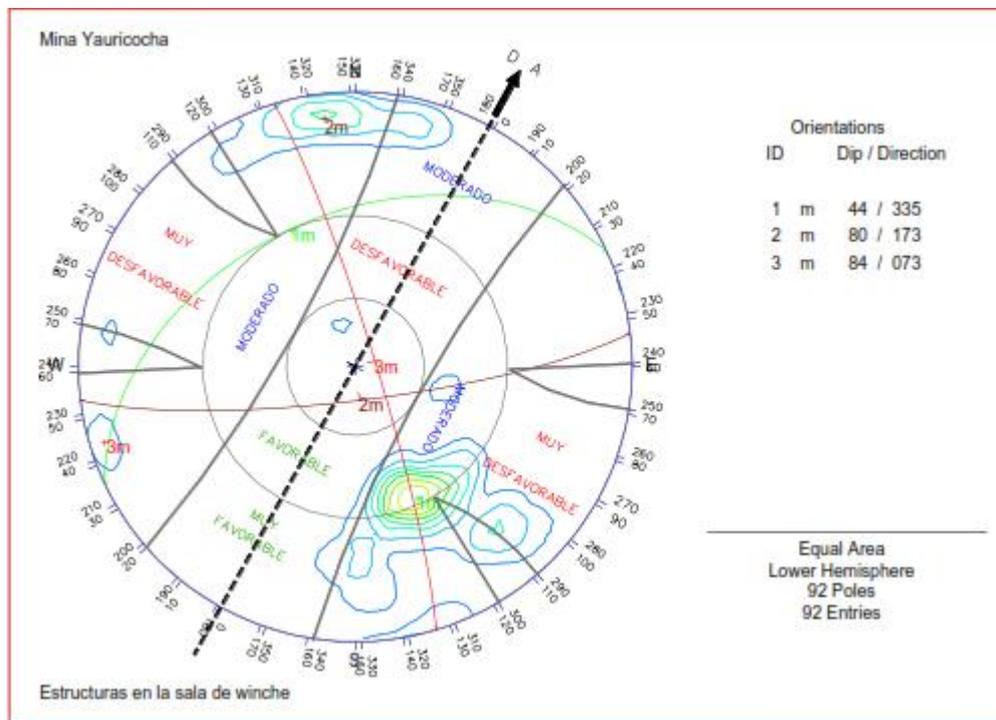
| Orientación del Rumbo y Buzamiento de las Discontinuidades |                 | Muy favorable | Favorable | Regular | Desfavorable | Muy Desfavorable |
|--|-----------------|---------------|-----------|---------|--------------|------------------|
| Valores  | Túneles y Minas | 0             | -2        | -5      | -10          | -12              |
|  | Cimentaciones   | 0             | -2        | -7      | -15          | -25              |
|  | Taludes         | 0             | -5        | -25     | -50          | -60              |

Fuente: (Ramirez Oyanguren, y otros, 2004)

Para la estimación del sostenimiento, se ha considerado conveniente realizar un ajuste por orientación de discontinuidades, para ello se ha utilizado el gráfico de la figura 28, en donde para la dirección de avance de la excavación de la cámara en estudio, las condiciones de estabilidad son moderadas, correspondiendo un ajuste de  $-5$  para el RMR básico.

Consecuentemente, el RMR ajustado es 49 (ver tabla 20) y su equivalente Q (Barton, 1994) es 1.35.

Gráfico N° 28: Condiciones de estabilidad por dirección de avance



Fuente: (Departamento de Geomecánica-Sociedad Minera Corona, 2019)

CUADRO N° 20: Calculo del RMR para la Cámara Winche

| VALORIZACION DEL MACIZO ROCOSO ( RMR) |                     |                   |    |                 |             |               |    |              |     |   |            |            |             |         |   |
|---------------------------------------|---------------------|-------------------|----|-----------------|-------------|---------------|----|--------------|-----|---|------------|------------|-------------|---------|---|
| PARAMETROS                            |                     | ESCALA DE VALORES |    |                 |             |               |    |              |     |   |            | VALORACION |             |         |   |
| RESISTENCIA DE LA ROCA INTACTA        | BAJO CARGA PUNTUAL  | > 10 Mpa          | 15 | 4-10 Mpa        | 12          | 2-4 Mpa       | 7  | 1-2 Mpa      | 4   | Para estos valores es preferible la resistencia a |            |            |             |         |   |
|                                       | A COMPRESION SIMPLE | > 250 Mpa         | 15 | 100-250 Mpa     | 12          | 50-100 Mpa    | 7  | 25-50 Mpa    | 4   | 5- 25 Mpa   | 2          | 1-5 Mpa    | 1           | < 1 Mpa | 0 |
| RQD                                   |                     | 90- 100 %         | 20 | 75-90%          | 17          | 50-75%        | 13 | 25-50%       | 8   | 25%   |            |            | 3           | 13      |   |
| Espaciamiento                         |                     | > 2m              | 20 | 0.6-2m          | 15          | 0.2-0.6m      | 10 | 0.06-0.2m    | 8   | < 0.06m   |            |            | 5           | 8       |   |
| CONDICION DE JUNTAS                   | Persistencia        | < 1m long.        | 6  | 1-3 m long.     | 4           | 3-10 m        | 2  | 10-20 m      | 1   | > 20 m  |            |            | 0           | 2       |   |
|                                       | Apertura            | Cerrada           | 6  | < 0.1 mm apert. | 5           | 0.1-1 mm      | 4  | 1-5 mm       | 2   | > 5 mm  |            |            | 0           | 4       |   |
|                                       | Rugosidad           | Muy rugosa        | 5  | Rugosa          | 4           | Lig. Rugosa   | 3  | Lisa         | 1   | Espejo de falla                                   |            |            | 0           | 3       |   |
|                                       | Relleno             | Limpia            | 6  | Duro < 5 mm     | 4           | Duro > 5 mm   | 2  | Suave <5 mm  | 1   | Suave > 5 mm                                      |            |            | 0           | 2       |   |
|                                       | Intemperización     | Sana              | 6  | Lig. Intemp.    | 5           | Mode. Intemp. | 3  | Muy intemp.  | 2   | Descompuesta                                      |            |            | 0           | 5       |   |
| AGUA SUBTERRANEA                      |                     | Seco              | 15 | Húmedo          | 10          | Mojado        | 7  | Goteo        | 4   | Flujo   |            |            | 0           | 10      |   |
| AJUSTE POR ORIENTACION                |                     | Muy Favorable     | 0  | Favorable       | -2          | Regular       | -5 | Desfavorable | -10 | Muy desfavorable                                  |            |            | -12         | -5      |   |
| VALOR RMR                             |                     |                   |    |                 |             |               |    |              |     |   | 49         |            |             |         |   |
| CLASE DE MACIZO ROCOSO                |                     |                   |    |                 |             |               |    |              |     |   |            |            |             |         |   |
| RMR                                   | 100-81              | 80-61             |    |                 | 60-41       |               |    | 40-21        |     |   | 20-0       |            | III REGULAR |         |   |
| DESCRIPCION                           | I MUY BUENA         | II BUENA          |    |                 | III REGULAR |               |    | IV MALA      |     |   | V MUY MALA |            |             |         |   |

Fuente: Elaboración propia (2019)

#### **4.2.4. Determinación del GSI**

Para determinar el GSI se tomaron los siguientes datos (ver tabla 9):

**Labor:** Cámara para el Winche de Producción

**Tipo de labor:** Permanente

**Fracturamiento:** 13 Fracturas/metro

**Resistencia:** Se rompe con dos golpes de picota

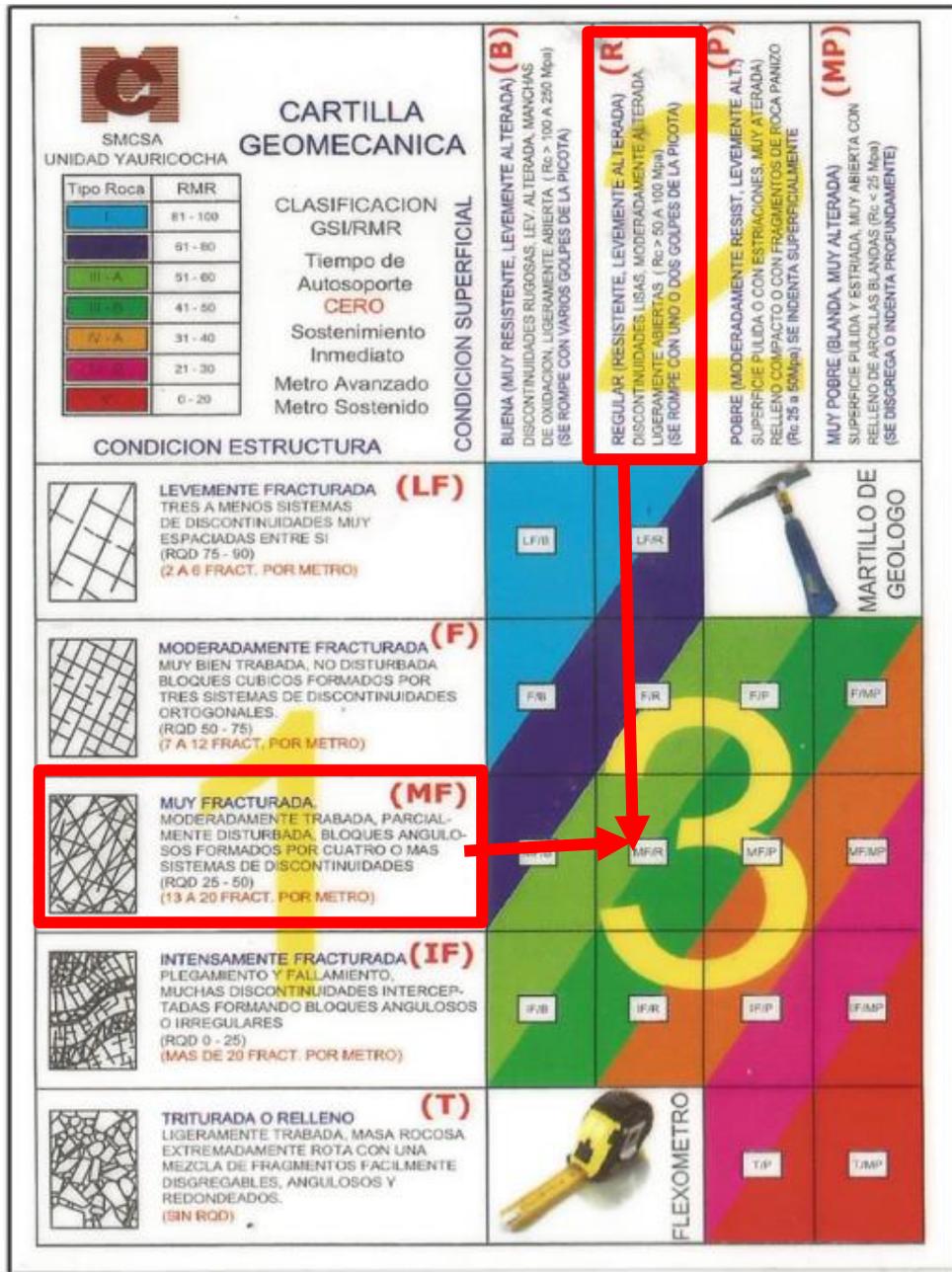
**Factor influyente:** Agua subterránea

- **Pasos para determinar el GSI**

1. Condición de estructura: Muy Fracturada (MF)

2. Condición superficial: Regular (R), (ver figura 29 y figura 30).

Gráfico N° 29: GSI según la descripción geológica-Sociedad Minera Corona



Fuente: (Departamento de Geomecánica-Yauricocha, 2019)

Gráfico N° 30: GSI y recomendación de sostenimiento-Sociedad Minera Corona

| Labor Permanente |                   | Labor permanente > 3 años |               | Sección de la Labor (m) |               |               |  |
|------------------|-------------------|---------------------------|---------------|-------------------------|---------------|---------------|--|
| Tipo Roca        | Clasificación GSI | Condición superficial     | Menor a 1,50m | 1,50m a 3,50m           | 3,50m a 4,50m | Mayor a 4,50m |  |
| I                | MUY BUENA I       | LF/B                      | Autososte     | PO                      | PO            | PO            |  |
| II               | BUENA II          | F/B - LF/R                | Autososte     | PO                      | PO            | P1            |  |
| III - A          | REGULAR III - A   | FR - MF/B                 | SO            | P1                      | P1            | P1            |  |
| III - B          | REGULAR III - B   | F/P - MF/R<br>IF/B        | SO            | P+M                     | P+M           | P+M           |  |
| IV - A           | MALA IV - A       | MF/P - IF/R<br>F/M/P      | CM            | SH+P                    | SH+P          | SH+P          |  |
| IV - B           | MALA IV - B       | MFMP - IFP                | CM            | CB H4                   | CB H4         | NR            |  |
| V                | MUY MALA V        | IFMP - TAF<br>T/P         | CM            | CB H6                   | NR            | NR            |  |

| Labor Temporal |                   | Labor temporal <= 3 años |               | Sección de la Labor (m) |               |               |  |
|----------------|-------------------|--------------------------|---------------|-------------------------|---------------|---------------|--|
| Tipo Roca      | Clasificación GSI | Condición Estructura     | Menor a 1,50m | 1,50m a 3,50m           | 3,50m a 4,50m | Mayor a 4,50m |  |
| I              | MUY BUENA I       | LF/B                     | Autososte     | SO                      | SO            | SO            |  |
| II             | BUENA II          | F/B - LF/R               | Autososte     | SO                      | SO            | S1            |  |
| III - A        | REGULAR III - A   | FR - MF/B                | SO            | S1                      | S1            | S1            |  |
| III - B        | REGULAR III - B   | F/P - MF/R<br>IF/B       | SO            | S+M                     | S+M           | S+M           |  |
| IV - A         | MALA IV - A       | MF/P - IF/R<br>F/M/P     | CM            | SH + S                  | SH + S        | SH + S        |  |
| IV - B         | MALA IV - B       | MFMP - IFP               | CM            | CB H6/CM                | CB H6         | NR            |  |
| V              | MUY MALA V        | IFMP - TAF<br>T/P        | CM            | CB H6/CM                | CB H6         | NR            |  |

| Tipo de Sostenimiento |   | FACTORES INFLUYENTES   |
|-----------------------|---|--|
| Cod.                  | Descripción del Sostenimiento                                       |  |
| PO                    | Perno helicoidal ocasional  | <b>FLUJO DE AGUA</b><br><b>ESFUERZOS INDUCIDOS</b><br><b>VOLADURA DEFICIENTE</b><br><b>PRESENCIA DE FALLAS</b><br>SIN FACTORES INFLUYENTES<br>CON FACTORES INFLUYENTES |
| P1                    | Perno helic. sistematico 1.2x1.2 - 1.5x1.5 - 2.0x2.0                |  |
| P+M                   | Perno helic. sist. + malla 1.0 x 1.0 m o 1.2x1.2 m.                 |  |
| SO                    | Split set ocasional   |  |
| S1                    | Split set o Swellex sist. 1.2x1.2 m a 1.5x1.5 m.                    |  |
| S+M                   | Split set o Swellex sist. + malla 1.0x1.0 m a 1.2x1.2 m             |  |
| SH + P                | Shotcrete con fibra 2" a 3" + perno helic. sist. 1.0x1.0 - 1.2x1.2  |  |
| SH + S                | Shotcrete con fibra 2" a 3" + Split /swellex. sist. 1,0 - 1,2m o CM |  |
| CB H4                 | Cimbras metálicas H4 espaciados 1.00m a 1.20m.                      |  |
| CB H6                 | Cimbra metálica H6 espaciado de 0.50 m a 1.0 m.                     |  |
| CM                    | Cuadros de madera 1.00m a 1.20m.                                    |  |
| NR                    | Excavación No Recomendado   |  |

|                     |                  |  |
|---------------------|------------------|--|
| Pernos helicoidales | Perno Permanente | La longitud de los pernos esta en función a la sección de la excavación. |
| Split Set           | Perno temporal   |  |

IMPORTANTE: cualquier modificación o combinación del sostenimiento se realizara bajo evaluación y recomendación del Área de Geomecánica.

Fuente: (Departamento de Geomecánica-Yauricocha, 2019)

3. Intersección del paso uno y dos, dándonos como resultado el Índice

GSI: **MF/R**.

4. Se determina el sostenimiento recomendado para una labor permanente: Perno Helicoidal Sistemático 7' + Malla electrosoldada 1.0 m x 1.0 m o 1.2 m x 1.2 m.

#### 4.2.5. Determinación el tipo de sostenimiento según la clasificación Geomecánica GSI

Según la Tabla 9, se tiene 13 fracturas por metro, por lo que la condición de estructura es **Muy fracturado (MF)**, la roca está ligeramente intemperizada, realizando la prueba de resistencia, la roca se rompe con dos golpes de picota por lo que la condición superficial es **Regular (R)**. Existe la presencia de agua como factor influyente y según la cartilla geomecánica GSI el tipo de roca es IIIB con un RMR 49. Por lo tanto el índice GSI es Muy Fracturado (MF)/ Regular(R). El sostenimiento recomendado según la cartilla GSI es Perno Helicoidal Sistemático 7' + Malla electrosoldada 1.0 m x 1.0 m o 1.2 m x 1.2 m.

CUADRO N° 21: Tabla Geomecánica RMR y sostenimiento aplicable

| TABLA GEOMECANICA     |                   |           |                        |                |             |                          | TIPO DE SOSTENIMIENTO                                      |
|-----------------------|-------------------|-----------|------------------------|----------------|-------------|--------------------------|--|
|                       |                   |           |                        |                |             |                          | LABOR  |
| RIESGO DE ESTABILIDAD | CODIGO DE COLORES | CLASE RMR | DESCRIPCION DE LA ROCA | EVALUACION RMR | GSI         | GRADO DE ESTABILIDAD     | PERMANENTE > 3 AÑOS  |
| RIESGO BAJO           |                   | II A      | BUENA A                | 71-80          | LF/R, F/B   | ESTABLE                  | Perno Helicoidal ocasional o puntual                       |
|                       |                   | II B      | BUENA B                | 61-70          | F/R         |                          | Perno Helicoidal ocasional o puntual                       |
| RIESGO MEDIO          |                   | III A     | REGULAR A              | 51-60          | F/P, MF/R   | MED.                     | Perno Helicoidal sistemático                               |
|                       |                   | III B     | REGULAR B              | 41-50          | MF/P, IF/R  | ESTABLE A MED. INESTABLE | Perno Helicoidal y malla electrosoldada esp. 1.00 o 1.20m  |
| RIESGO ALTO           |                   | IV A      | POBRE A                | 31-40          | MF/MP, IF/P | INESTABLE                | Shotcrete e=5-10 cm y PH sistemático. y/o CB H4 e=1.2-1.5m |
|                       |                   | IV B      | POBRE B                | 21-30          | IF/M P      |                          | Cimbras H4 e=1.0-1.2m                                      |
|                       |                   | V         | MUY POBRE              | 0-20           | T/MP        | MUY INESTABLE            | Cimbras H6 e=0.5-1.0m                                      |

Fuente: (Departamento de Geomecánica-Yauricocha, 2019)

#### 4.2.6. Cálculo del índice Q según Barton:

Para calcular el índice Q, usaremos la siguiente ecuación, identificando los parámetros basado en el número de familias de discontinuidades, parámetro basado en la rugosidad de las discontinuidades, parámetro basado en la alteración de las discontinuidades, parámetro basado en la presencia de agua y

el factor de reducción de esfuerzos, todos ellos identificados en el trabajo de campo (ver tabla 9) y con el procesamiento de datos en laboratorio.

$$Q = \frac{RQD}{J_n} * \frac{J_r}{J_a} * \frac{J_w}{SRF}$$

Donde:

- RQD = Índice de calidad de la roca
- J<sub>n</sub> = Parámetro basado en el número de familias de discontinuidades (ver tabla 22), de acuerdo a la figura 28, se tiene 3 familias de discontinuidades.

CUADRO N° 22: Número de familias de discontinuidades J<sub>n</sub>

| Descripción                                | J <sub>n</sub> |
|--|----------------|
| ▪ Roca masiva                              | 0.5-1          |
| ▪ Una familia de diaclasas                 | 2              |
| ▪ Una familia y algunas juntas ocasionales | 3              |
| ▪ Dos familias                             | 4              |
| ▪ Dos familias y algunas juntas            | 6              |
| ▪ Tres familias                            | 9              |
| ▪ Tres familias y algunas juntas           | 12             |
| ▪ Cuatro o más familias, roca muy fractura | 15             |
| ▪ Roca triturada terrosa                   | 20             |

Fuente: (Ramirez Oyanguren, y otros, 2004)

- J<sub>r</sub> = Parámetro basado en la rugosidad de las discontinuidades (ver tabla 23), según la tabla 9, se identificó un macizo rocoso ligeramente rugoso.

CUADRO N° 23: Rugosidad de las discontinuidades J<sub>r</sub>

| Descripción   | J <sub>r</sub> |
|---|----------------|
| *Contacto entre las dos caras de la junta mediante un desplazamiento cortante de menos de 10 cm |                |
| ▪ Juntas discontinuas   | 4              |
| ▪ Junta rugosa o irregular ondulada   | 3              |
| ▪ Suave ondulada  | 2              |
| ▪ Espejo de falla, ondulada   | 1.5            |
| ▪ Rugosa o irregular, plana   | 1.5            |
| ▪ Suave plana   | 1              |
| ▪ Espejo de falla, plana  | 0.5            |
| *No existe contacto entre las dos caras de la junta cuando ambas se desplazan lateralmente      | J <sub>r</sub> |

| Descripción  | Jr |
|--|----|
| ▪ Zona conteniendo minerales arcillosos, suficientemente gruesa para impedir el contacto entre las caras de la junta | 1  |
| ▪ Arenas, grava o zona fallada suficientemente gruesa para impedir el contacto entre las dos caras de la junta       | 1  |

Fuente: (Ramirez Oyanguren, y otros, 2004)

• Ja = Parámetro basado en la alteración de las discontinuidades (ver tabla 24), según la tabla 9, se identificó que el macizo rocoso es ligeramente intemperizado.

CUADRO N° 24: Alteración de las discontinuidades Ja

| Descripción   | Ja            |
|---|---------------|
| *Contacto entre las dos caras de la junta   |               |
| ▪ Junta sellada dura, sin reblandecimiento, impermeable.  | 0.75          |
| ▪ Caras de la junta únicamente manchadas  | 1             |
| ▪ Las caras de la junta están alteradas ligeramente y contienen minerales no reblandecibles, partículas de arena, roca desintegrada libre de arcilla, etc.                  | 2             |
| ▪ Recubrimiento de limo o arena arcillosa, pequeña fracción arcillosa no reblandecible.   | 3             |
| ▪ Recubrimiento de minerales arcillosos blandos o de baja fricción.   | 4             |
| *contacto entre las dos caras de la junta con menos de 10 cm de desplazamiento  | Ja            |
| Descripción   | Ja            |
| ▪ Partículas de arena, roca desintegrada libre de arcilla.  | 4             |
| ▪ Rellenos de minerales arcillosos no reblandecidos, fuertemente sobreconsolidados. Los recubrimientos son continuos de menos de 5mm de espesor.                            | 6             |
| ▪ Sobreconsolidación media o baja, reblandecimiento; rellenos de minerales arcillosos. Los recubrimientos son continuos de menos de 5mm de espesor.                         | 8             |
| ▪ Rellenos de arcillas expansivas, p.ej. Montmorillonita, de espesor continuo de 5 mm. El valor Jn depende del porcentaje de partículas del tamaño de la arcilla expansiva. | 8-12          |
| *No existe contacto entre las dos caras de la junta cuando ésta ha sufrido un desplazamiento cortante.  | Ja            |
| ▪ Zonas o bandas de roca desintegrada o roca machacada y arcilla  | 6-8<br>u 8-12 |
| ▪ Zonas blandas de arcilla limosa o arenosa con pequeña fracción de arcilla, sin reblandecimiento   | 5             |
| ▪ Milonitos arcillosos gruesos.   | 10-13 u 13-20 |

Fuente: (Ramirez Oyanguren, y otros, 2004)

- $J_w$  = Parámetro basado en la presencia de agua (ver tabla 25), según la tabla 9, la presencia de agua nos indica que es húmedo.

CUADRO N° 25: Agua en la juntas  $J_w$

| Descripción   | $J_w$     | Presión agua Kg/cm <sup>2</sup> |
|---|-----------|---------------------------------|
| Excavaciones secas o de fluencia poco importante, p.e. menos de 5 l/min localmente          | 1         | <1                              |
| Fluencia o presión medias, ocasional lavado de los rellenos de las juntas                   | 0.72      | 1-2.5                           |
| Fluencia grande o presión alta; considerable lavado de los rellenos de las juntas           | 0.33*     | 2.5-10                          |
| Fluencia o presión de agua excepcionalmente altas al dar las pegas, decayendo con el tiempo | 0.1-0.2*  | >10                             |
| Fluencia o presión de agua excepcionalmente altas y continuas, sin disminución              | 0.05-0.1* | >10                             |

Los valores presentados con el signo \* son solo valores estimados. Si se instalan elementos de drenaje, hay que aumentar  $J_w$ . Los problemas causados por la formación de hielo no se consideran.

Fuente: (Ramirez Oyanguren, y otros, 2004)

- SRF = Factor de reducción de esfuerzos (ver tabla 26), según la identificación del GSI, el índice de resistencia nos indica que el macizo rocoso se rompe con dos golpes de picota, en roca competente.

CUADRO N° 26: Tensiones en la excavación SRF

| Descripción   | SRF |
|---|-----|
| 1 Zonas débiles que intersectan la excavación y pueden causar caídas de bloques, según avanza la misma                        | SRF |
| A Varias zonas débiles conteniendo arcilla o roca desintegrada químicamente, roca muy suelta alrededor(Cualquier profundidad) | 10  |
| B Sólo una zona débil conteniendo arcilla o roca desintegrada químicamente( profundidad de excavación menor de 50m)           | 5   |
| C Sólo una zona débil conteniendo arcilla o roca desintegrada químicamente( profundidad de excavación mayor de 50 m)          | 2.5 |
| D Varias zonas de fractura en roca competente (libre de arcilla), roca suelta alrededor (cualquier profundidad).              | 7.5 |
| E Sólo una zona fracturada en roca competente (libre de arcilla), (profundidad de excavación menor de 50m).                   | 5   |

| Descripción   |   | SRF                 |                     |       |
|---|---|---------------------|---------------------|-------|
| F   | Sólo una zona fracturada en roca competente (libre de arcilla), (profundidad mayor de 50m).   |                     | 2.5                 |       |
| G   | Juntas abiertas fracturada, etc. (cualquier profundidad).   |                     | 5                   |       |
| 2   | Rocas competentes, problemas de tensiones en las rocas  | $\sigma_c/\sigma_1$ | $\sigma_t/\sigma_1$ | SRF   |
| H   | Tensiones pequeñas cerca de la superficie   | >200                | >13                 | 2.5   |
| J   | Tensiones medias  | 200-10              | 13-0.66             | 1     |
| K   | Tensiones altas, estructura muy compacta (normalmente favorable para la estabilidad, puede ser desfavorable para la estabilidad de los hastiales).  | 10-5                | 0.66-0.33           | 0.5-2 |
| L   | Explosión de roca suave (roca masiva)   | 5-2.5               | 0.33-0.16           | 5-10  |
| M   | Explosión de roca fuerte (roca masiva)  | <2.5                | <0.16               | 10-20 |
| <p><math>\sigma_c</math> y <math>\sigma_t</math> son las resistencias a compresión y tracción, respectivamente, de la roca; <math>\sigma_1</math> es la tensión principal máxima que actúa sobre la roca.</p> |   |                     |                     |       |
| 3   | Roca fluyente, flujo plástico de roca incompetente bajo la influencia de altas presiones litostáticas.  |                     |                     | SRF   |
| N   | Presión de flujo grave  |                     |                     | 5-10  |
| O   | Presión de flujo intensa  |                     |                     | 10-20 |
| 4   | Rocas expansivas, actividad expansiva química dependiendo de la presencia de agua   |                     |                     | SRF   |
| P   | Presión de expansión suave  |                     |                     | 5-10  |
| R   | Presión de expansión intensa  |                     |                     | 10-20 |
| Observaciones al SRF:   |   |                     |                     |       |
| i.  | Reducir los valores del SRF en un 25-50% si las zonas de rotura sólo influyen pero no intersectan a la excavación.  |                     |                     |       |
| ii  | En los casos en que la profundidad de la clave del túnel sea inferior a la anchura del mismo, se sugiere aumentar el SRF de 2.5 a 5   |                     |                     |       |
| ii  | Para campos de tensiones muy anisótropos (si se miden) cuando $5 \leq \sigma_1/\sigma_3 \leq 10$ , reducir $\sigma_c$ y $\sigma_t$ a $0.8 \sigma_c$ y $0.8 \sigma_t$ ; cuando $\sigma_1/\sigma_3 > 10$ , reducir $\sigma_c$ y $\sigma_t$ a $0.2 \sigma_c$ y $0.6 \sigma_t$ , donde $\sigma_3$ es la tensión principal mínima que actúa sobre la roca. |                     |                     |       |

Fuente: (Ramirez Oyanguren, y otros, 2004)

Por tanto, aplicando la fórmula del índice Q:

$$Q = \frac{RQD}{J_n} * \frac{J_r}{J_a} * \frac{J_w}{SRF}$$

$$Q = \frac{75}{12} \times \frac{1.5}{2} \times \frac{0.72}{2.5}$$

$$Q = 1.35$$

#### 4.2.7. Relación entre el RMR y Q:

CUADRO N° 27: Intervalos de valores del RMR y Q para categorías similares de los macizos rocosos

| Clase       | Rango RMR    | Rango Q          | Calidad según    |
|-------------|--------------|------------------|------------------|
| II          | >            | >5.92            | Buen             |
| IIIA        | 51-60        | 2.18-5.92        | Regular A        |
| <b>IIIB</b> | <b>41-50</b> | <b>0.72-1.95</b> | <b>Regular B</b> |
| IVA         | 31-40        | 0.24-0.64        | Mala             |
| IVB         | 21-30        | 0.08-0.21        | Mala             |
| V           | <            | <0.08            | Muy Mala         |

Fuente: (Departamento de Geomecánica-Yauricocha, 2019)

#### 4.2.8. Sostenimiento recomendado según el ESR

Para estimar el sostenimiento de la Cámara Winche, se ha utilizado el criterio de sostenimiento para excavaciones permanentes desarrollado por Grimstad y Barton (1993) (ver figura 31, figura 32 y figura 33). Se ha determinado que para utilizar el índice Q, en la excavación de la Cámara Winche el valor de ESR es igual a 0.8 (ver tabla 28), por lo que la dimensión equivalente (De) para el techo resulta el valor de 20.75 y para las paredes el valor de 12.

CUADRO N° 28: Relación de Sostenimiento de Excavación (ESR)

| CATEGORIA DE LA EXCAVACION |  | ESR | N° DE CASOS |
|----------------------------|--|-----|-------------|
| <b>A</b>                   | Excavación mineras temporales  | 3-5 | 2           |
| <b>B</b>                   | Piques verticales:   |     |             |
|                            | Sección circular   | 2.5 |             |
|                            | Sección rectangular / cuadrada   | 2.0 |             |
| <b>C</b>                   | Aberturas mineras permanentes, túneles de agua para Hidroeléctricas (excluyendo conductos forzados de alta presión), túneles piloto, galería y socavones para grandes excavaciones | 1.6 | 83          |
| <b>D</b>                   | Cámaras de almacenamiento, plantas de tratamiento de agua, túneles carreteros y ferrocarriles menores, cámaras de equilibrio, túneles de acceso.                                   | 1.3 | 25          |
| <b>E</b>                   | Casas de fuerza, túneles carreteros y ferrocarriles mayores, cámaras de defensa civil, portales, intersecciones.   | 1.0 | 73          |
| <b>F</b>                   | Estaciones subterráneas de energía nuclear, estaciones de ferrocarril, fábricas  | 0.8 | 2           |

Fuente: (Departamento de Geomecánica-Yauricocha, 2019)

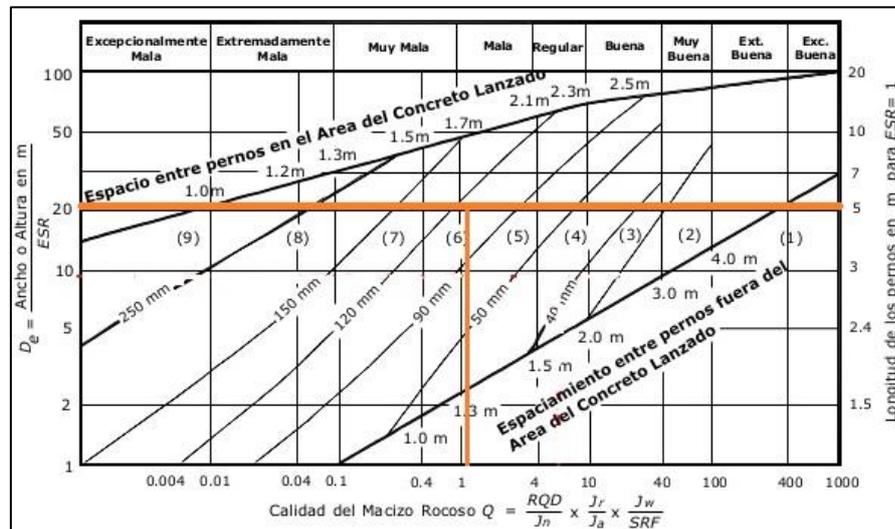
Ahora determinaremos el tipo de sostenimiento a utilizar según el ESR, para ello determinaremos el diámetro equivalente como se muestra a continuación y según la tabla 29, se elegirá el tipo de sostenimiento

1. Se determina el diámetro equivalente para un Span de 16.6 m, siendo el ESR 0.8 y Q=1.35 (ver figura 31):

$$\text{Diámetro equivalente}(De) = \frac{\text{Ancho o altura en m}}{\text{ESR}}$$

$$De = \frac{16.6}{0.8} \Rightarrow 20.75$$

Gráfico N° 31: Categoría de Sostenimiento para el ancho de 16.6 m



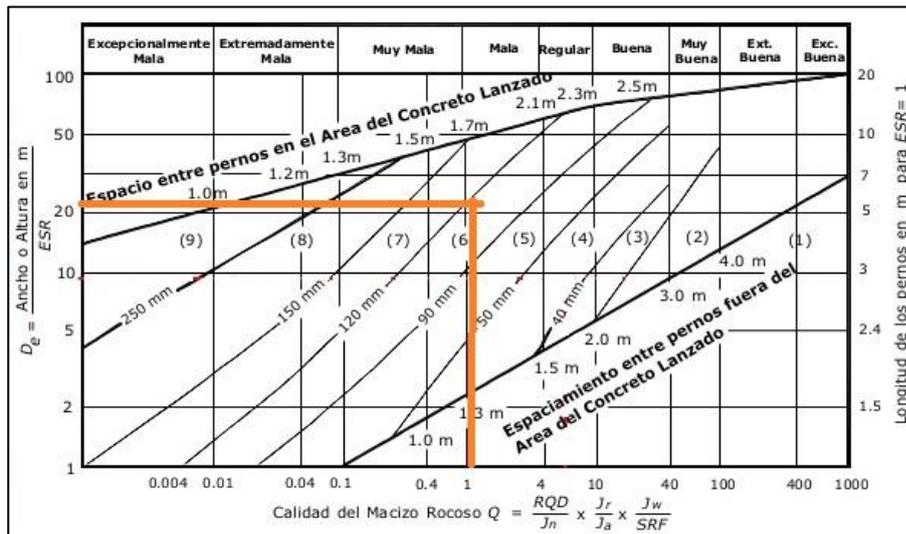
Fuente: (Departamento de Geomecánica-Yauricocha, 2019)

2. Se determina el diámetro equivalente para un Span de 21.9 m, siendo el ESR 0.8 y Q=1.35 (ver figura 32):

$$\text{Diámetro equivalente}(De) = \frac{\text{Ancho o altura en m}}{\text{ESR}}$$

$$De = \frac{21.9}{0.8} \Rightarrow 27.375$$

Gráfico N° 32: Categoría de Sostenimiento para span de 21.9 m



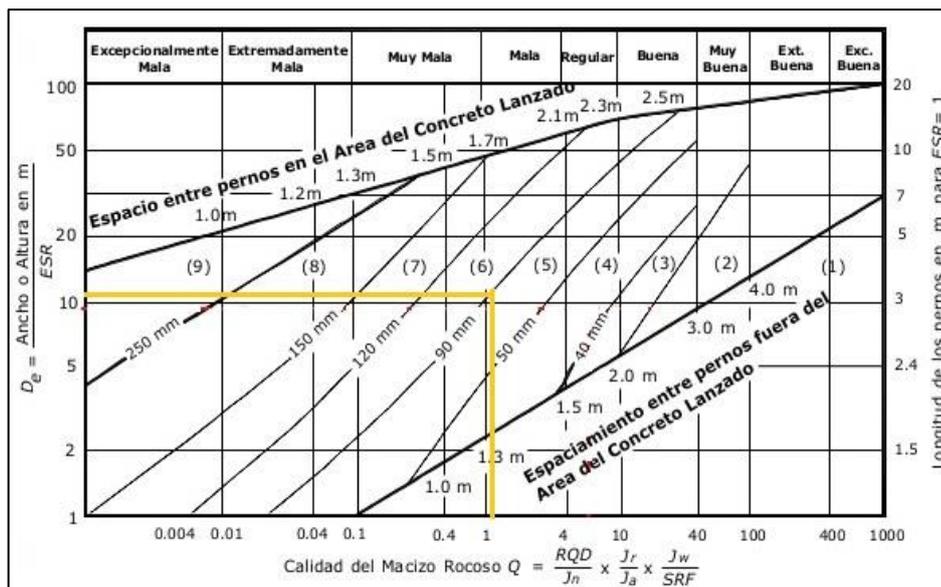
Fuente: (Departamento de Geomecánica-Yauricocha, 2019)

- Se determina el diámetro equivalente para un Span de 9.6 m, siendo el ESR 0.8 y Q=1.35 (ver figura 33):

$$\text{Diámetro equivalente}(D_e) = \frac{\text{Ancho o altura en m}}{\text{ESR}}$$

$$D_e = \frac{9.6}{0.8} \Rightarrow D_e = 12$$

Gráfico N° 33: Categoría de Sostenimiento para el span de 9.6 m



Fuente: (Departamento de Geomecánica-Yauricocha, 2019)

CUADRO N° 29: Sostenimiento según el ESR

| Categoría de Refuerzo |   |
|-----------------------|---|
| 1                     | Sin sostenimiento.  |
| 2                     | Empernado Puntual.  |
| 3                     | Empernado sistemático.  |
| 4                     | Empernado sistemático con 40-100 mm de Shotcrete sin refuerzo.              |
| 5                     | Shotcrete reforzado con fibra, de 50-90 mm y empernado                      |
| 6                     | Shotcrete reforzado con fibra, de 90-120 mm y empernado.                    |
| 7                     | Shotcrete reforzado con fibra, de 120-150 mm y empernado.                   |
| 8                     | Shotcrete reforzado con fibras, >150mm, con cerchas reforzados y empernado. |
| 9                     | Revestimiento de concreto moldeado.   |

Fuente: (Departamento de Geomecánica-Yauricocha, 2019)

Llegamos a determinar entonces que el tipo de sostenimiento dado por la tabla 29, nos indica que para el span de 21.9 m la categoría de refuerzo es shotcrete reforzado con fibra de 90 - 120 mm y empernado.

#### 4.2.9. Cable Bolting

El Cable Bolting se ha de utilizar en la Cámara Winche, por ser un sostenimiento que ayuda a mantener estable el macizo rocoso en aberturas de grandes dimensiones, como tajeos de explotación.

Los Cable Bolting, se usan cuando la roca es dura, moderadamente fracturada o fracturadas, que presentan bloques grandes a medianos, con un RMR mayor o igual a 40, que en nuestro caso tenemos un RMR igual a 49, o cuando se quiere asegurar una franja de roca débil entre dos franjas de roca competente. (Velasquez Mamani, 2019).

Ahora determinaremos la longitud del cable Bolting a usar en la Cámara Winche y relacionamos la distribución de esfuerzos (ver figura 34):

$$\text{Longitud Cable} = 0.7 \times \text{Span}^{0.7} + 2$$

$$\text{Longitud Cable} = 0.7 \times 16^{0.7} + 2$$

$$\text{Longitud Cable} = 7 \text{ m}$$

Gráfico N° 34: Distribución de esfuerzo para Cable Bolting

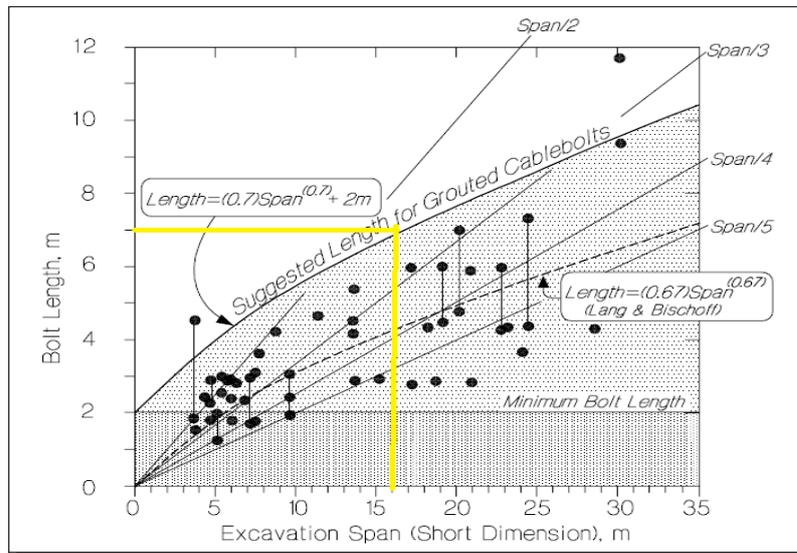


Figure 2.16.10: Bolt lengths in current practice (after Lang and Bischoff, 1984) with adjustment for cablebolt application (relationships are for S.I. units)

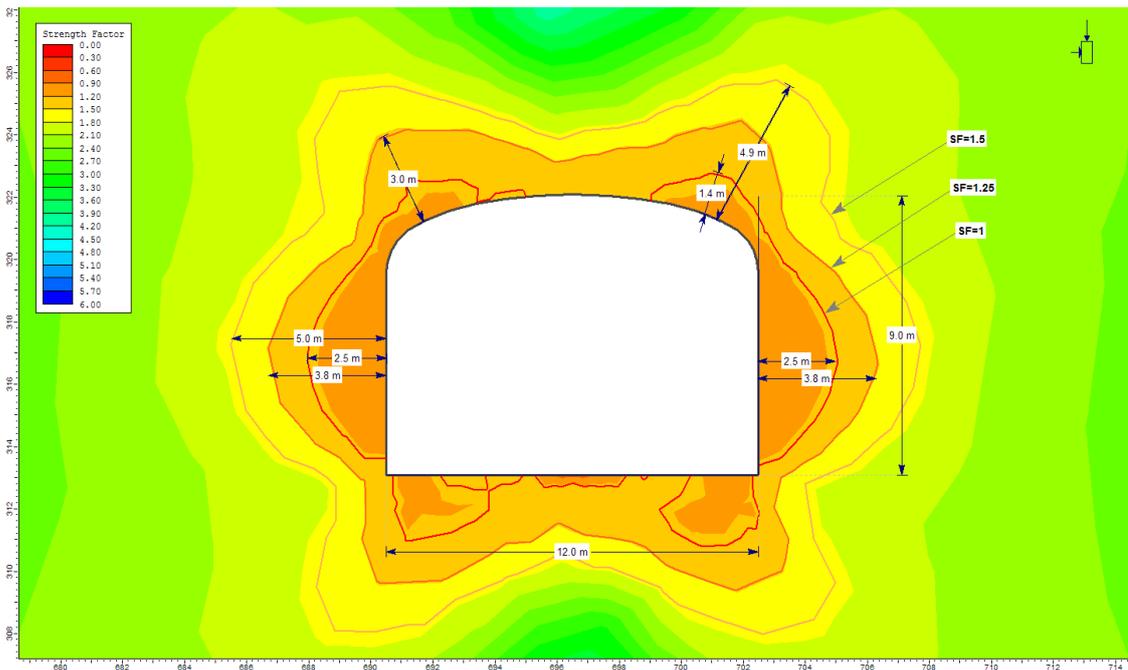
Fuente: (Departamento de Geomecánica-Yauricocha, 2019)

#### 4.2.10. Cálculo del Factor de Seguridad (F.S.)

Para el cálculo del factor de seguridad se hizo uso del software PHASE2 V.7.013 de Rocscience Inc. (2010) para analizar las condiciones de esfuerzos y deformaciones alrededor de la excavación de la Cámara Winche. Para ello se ha utilizado los parámetros de resistencia descritos en esta tesis, utilizando además el programa Roclab Versión 1.032 de Rocscience Inc. (2011). Los resultados de los análisis son mostrados en las figuras 35, 36, 37 y 38.

Analizando para un valor  $k = 0.51$  (ver figura 35), el espesor de la zona plástica para un factor de seguridad menor que 1 en el techo es 1.4 m y en las paredes 2.5 m. El espesor de la zona plástica para un factor de seguridad menor a 1.25 es de 3.8 m en las paredes y 3.0 m en el techo. Los esfuerzos principales máximos en el techo y en las paredes de la excavación serán respectivamente 4 MPa y 22 MPa. Las deformaciones máximas ocurren en el piso y en el techo con 20 mm y 18 mm respectivamente.

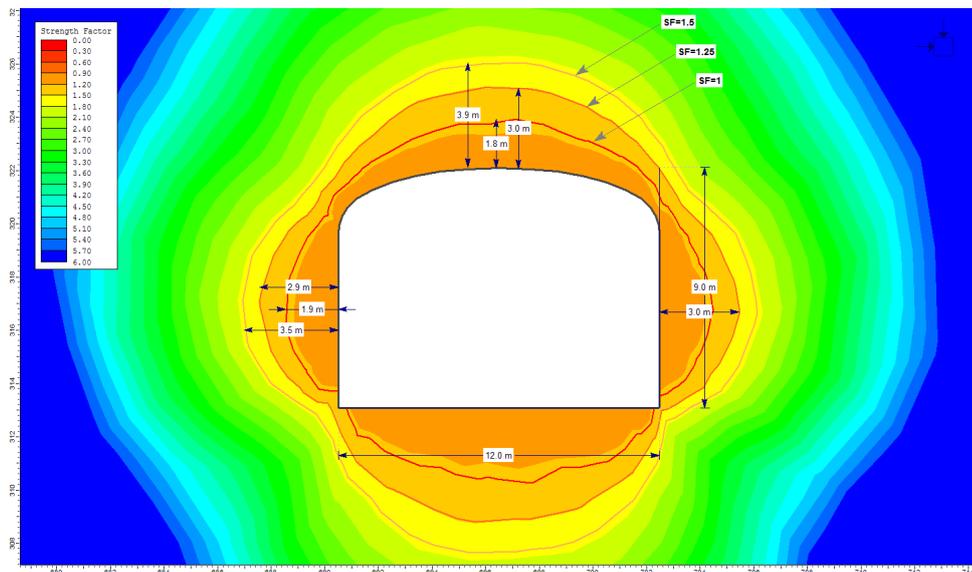
Gráfico N° 35: Distribución de factores de resistencia alrededor de la Cámara Winche valor de  $k$  de 0.51



Fuente: (Departamento de Geomecánica-Sociedad Minera Corona, 2019)

Analizando para un valor de  $k = 1$  (ver figura 36), el espesor de la zona plástica para un factor de seguridad menor a 1 en las paredes 1.9 m y en el techo es 1.8 m. El espesor de la zona plástica para un factor de seguridad menor a 1.25 es 3.0 m en el techo y en las paredes. Los esfuerzos principales máximos en el techo y en las paredes de la excavación son iguales a 18 MPa.

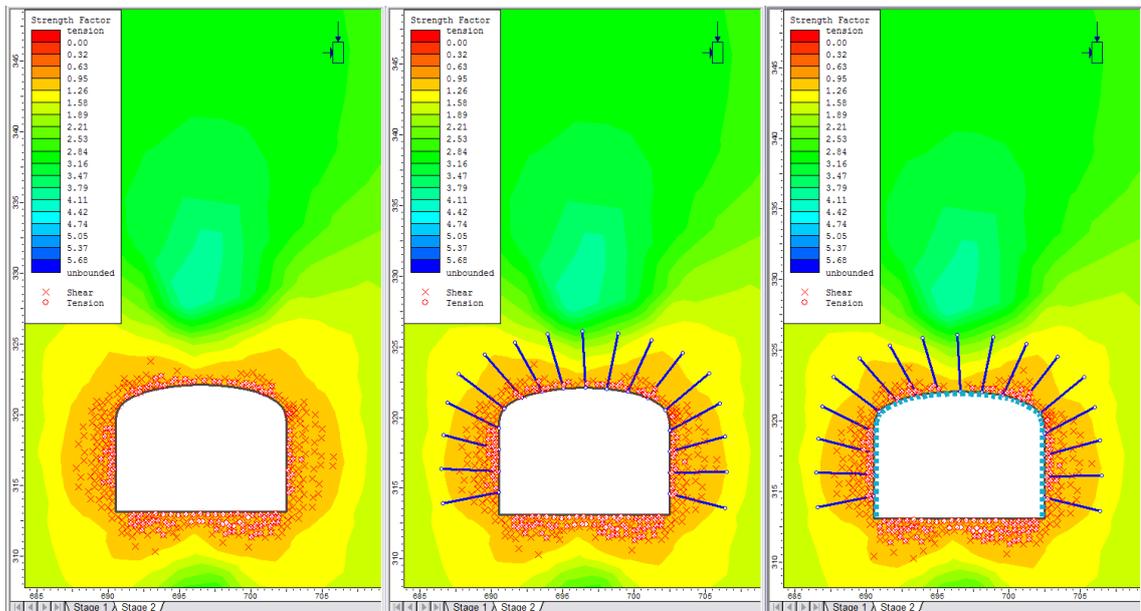
Gráfico N° 36: Distribución de factores de resistencia para el valor 1 de constante  $k$



Fuente: (Departamento de Geomecánica-Sociedad Minera Corona, 2019)

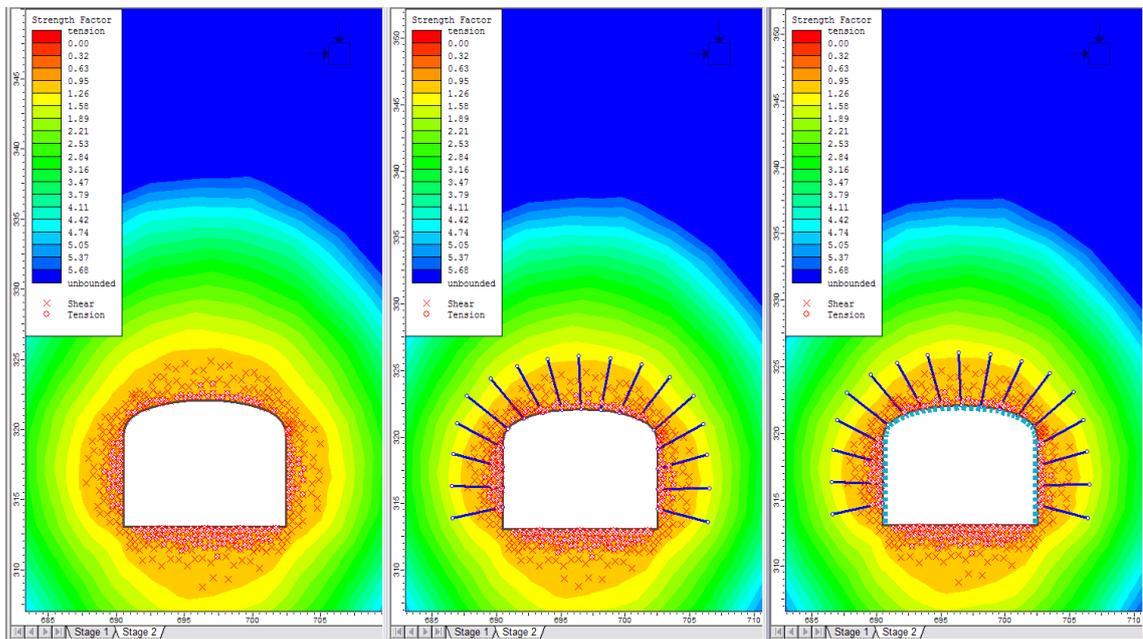
En la figura 37 y figura 38 se muestran los resultados de los análisis efectuados para estimar el sostenimiento. Por la considerable cobertura rocosa (500 m), se espera que los esfuerzos inducidos sean de magnitud considerable, que hace que sea necesario sostener tanto el techo como las paredes con pernos y shotcrete: pernos de 4 m, espaciados cada 1.5 m, más una capa de shotcrete de 75 mm. Para nuestro caso, utilizaremos Pernos Helicoidales de 7 pies y cable Bolting de 7 metros de longitud, lo cual cumpliría con el requerimiento de pernos de 4 m.

*Gráfico N° 37: Análisis plástico sin sostenimiento y con sostenimiento para valor de k igual a 0.51*



Fuente: (Departamento de Geomecánica-Sociedad Minera Corona, 2019)

Gráfico N° 38: Análisis plástico sin sostenimiento y con sostenimiento para valor de  $k$  igual a 1

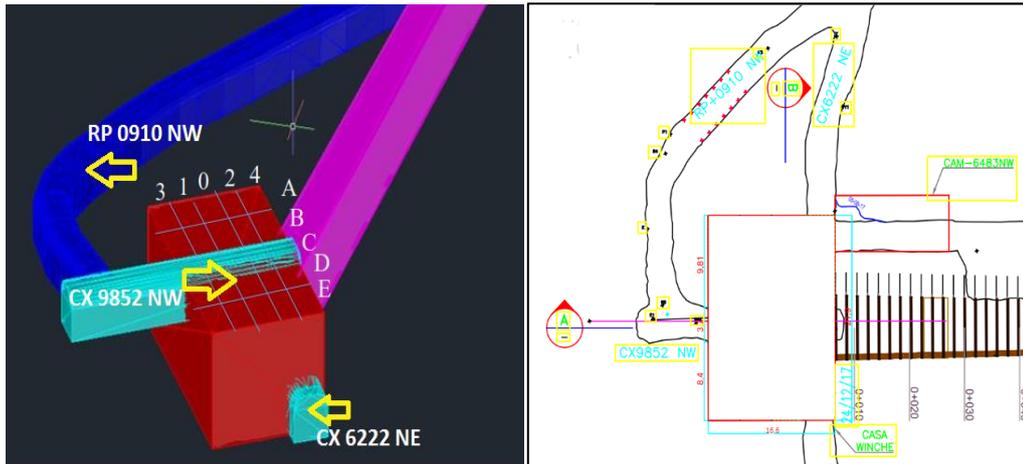


Fuente: (Departamento de Geomecánica-Sociedad Minera Corona, 2019)

#### 4.2.11. Perforación, voladura y sostenimiento de la Cámara Winche

Para la excavación de la Cámara Winche, esto se realizó en etapas. En la primera etapa se plantea que la perforación y voladura sea en breasting, considerando la evaluación geomecánica, se realizará el sostenimiento de la labor en cada disparo, con Perno Helicoidal Sistemático de 7' + Malla electrosoldada espaciados a 1.2 m x 0.85 m. Una vez completado la sección transversal según la figura 39, en la fase 0 el sostenimiento inicial es Shotcrete de 2" de espesor con 35 kg Fibra/m<sup>3</sup> más Pernos Helicoidales de 7' + Malla electrosoldada espaciados 1.2 m x 0.85 m a todo lo largo de la excavación.

Gráfico N° 39: Modelamiento de la Cámara para el Winche de Producción



Fuente: (Área de Topografía DC Mining S.A., 2019)

Antes de desquinchar para la siguiente fase 1 se coloca los Cables Bolting de 7.0 m con diámetro  $\varnothing 15.24$  mm, en dos filas espaciados a 1.5 m x 1.5 m a lo largo de la fase 0; luego se hacen los desquinches según la fase transversal "A" (3.5 m de ancho de desquinche) según la secuencia (1, 2, 3 y 4) y con el sostenimiento inicial de Shotcrete de 2" de espesor con 30 kg fibra/m<sup>3</sup> más Pernos Helicoidales de 7 pies más Malla electrosoldada espaciados 1.2 m x 0.85 m, a lo largo de la fase transversal A; en la cual también se procederá a colocar los cables Bolting a 7.0 m con diámetro  $\varnothing 15.24$  mm, espaciados a 1.5 m x 1.5 m. Culminado la fase transversal A de la corona de la excavación (en función a las fases 0, 1, 2, 3, 4) se sostendrá con Shotcrete hasta completar el espesor de 4" con 35 kg fibra/m<sup>3</sup>, así de esta manera hasta completar con las fases transversales B, C, D y E (ver figura 39).

Luego se procedería a realizar la excavación de la Cámara Winche en una segunda etapa por el método del Banqueo, método utilizado en los piques en perforación vertical hacia abajo, colocando según la evaluación geomecánica en las paredes Shotcrete (35 kg fibra/m<sup>3</sup>) de 2" más Pernos Helicoidales de 7 pies más Malla electrosoldada, y luego el sostenimiento

definitivo con cables Bolting de 7.0 m con diámetro Ø15.24 mm, espaciados a 1.5 m x 1.5 m y completando el espesor de Shotcrete a 4".

Hasta aquí se ha analizado los parámetros geomecánicos, el factor de seguridad y la excavación y sostenimiento de la Cámara Winche. A continuación se muestra los resultados de la presente tesis.

### **4.3. Prueba de Hipótesis**

#### **4.3.1. Validación de hipótesis general**

La evaluación geomecánica influye verdaderamente para determinar el tipo de sostenimiento de la Cámara para el Winche de Producción del Nv 720, del pique Yauricocha.

Según la evaluación geomecánica hecha por el área de Geomecánica de la compañía, el terreno presenta una calidad predominante regular B (RMR 41-60) y según el índice de Q de Barton es 1.35; el macizo rocoso está compuesto de una caliza de resistencia regular (50-100 MPa) en promedio 75 MPa, con 03 sistemas de discontinuidades con orientaciones preferentes NW – SE, NWW - SEE, NE – SW, con ángulos de buzamiento que varían entre los 50° - 85°.

Para usar el índice de Q y determinar el tipo de soporte de las infraestructuras de excavaciones de la Cámara para el Winche de producción se ha determinado que esta pertenece a una categoría de excavación **F** siendo el ESR de 0.8 (Cuestiones de estabilidad a largo plazo y con variables sujetos a subsidencia).

Según el índice GSI, la estructura es **Muy fracturado (MF)**, la roca está ligeramente intemperizada, realizando la prueba de resistencia, la roca se rompe con dos golpes de picota por lo que la condición superficial es **Regular (R)**. Existe la presencia de agua como factor influyente y según la cartilla geomecánica GSI el tipo de roca es IIIB con un RMR 49. Por lo tanto el índice GSI es Muy Fracturado (MF)/ Regular(R). El sostenimiento recomendado según

la cartilla GSI es Perno Helicoidal Sistemático 7' + Malla electrosoldada 1.0 m x 1.0 m ó 1.2 m x 1.2 m según evaluación geomecánica.

Con todos estos parámetros de clasificación geomecánica se llega a determinar el tipo de sostenimiento de la Cámara para el Winche de Producción que es lo siguiente:

- ✓ Perno Helicoidal Sistemático 7' + Malla electrosoldada espaciados a 1.2 m x 0.85 m.
- ✓ Para un span de 16.6 m, 21.0 m, 9.6 m se requiere Cables Bolting de 7.0 m, Ø15.24 mm espaciados: 1.5 m X 1.5 m.
- ✓ Shotcrete de 4" con 35 kg fibra/m<sup>3</sup>.
- ✓ Perno Split-set de 2' y 5' espaciados 1.2 m x 0.85 m, para el traslape de malla y para que la malla este bien apegada a la roca.

#### **4.3.2. Prueba de Hipótesis Específicas**

##### **➤ Prueba de Hipótesis Específica N° 1**

El factor de seguridad influye significativamente en el sostenimiento de la Cámara para el Winche Producción.

Se analizó el F.S. (Factor de Seguridad) en la estabilización de la Cámara Winche, para el caso de  $k = 0.51$  (ver figura 35), el espesor de la zona plástica para un factor de seguridad menor a 1 se determinó que en el techo es 1.4 m y en las paredes 2.5 m. El espesor de la zona plástica para un factor de seguridad menor a 1.25 es 3.0 m en el techo y de 3.8 m en las paredes. Los esfuerzos principales máximos en el techo y en las paredes de la excavación serán respectivamente 4 MPa y 22 MPa. Las deformaciones máximas ocurren en el piso y en el techo con 20 mm y 18 mm respectivamente.

Para el caso de  $k = 1$  (ver figura 36), el espesor de la zona plástica para un factor de seguridad menor a 1 se determinó que en el techo

es 1.8 m y en las paredes 1.9 m. El espesor de la zona plástica para un factor de seguridad menor a 1.25 es 3.0 m en el techo y 3.0 m en las paredes. Los esfuerzos principales máximos en el techo y en las paredes de la excavación son iguales a 18 MPa.

En la figura 37 y figura 38 los resultados de los análisis efectuados nos permiten observar que el sostenimiento permite la estabilidad de la Cámara Winche. Por la considerable cobertura rocosa donde la Cámara Winche está a 500 m de profundidad, los esfuerzos inducidos son de magnitud considerable, que hace que sea necesario sostener tanto el techo como las paredes con pernos y shotcrete: pernos de 4 m, espaciados cada 1.5 m, más una capa de shotcrete de 75 mm, esto según el programa PHASE2 V.7.013 de Rocscience Inc. (2010) para analizar las condiciones de esfuerzos y deformaciones alrededor de la excavación de la Cámara Winche.

➤ **Prueba de Hipótesis Específica N° 2: Etapa N°1- Breasting**

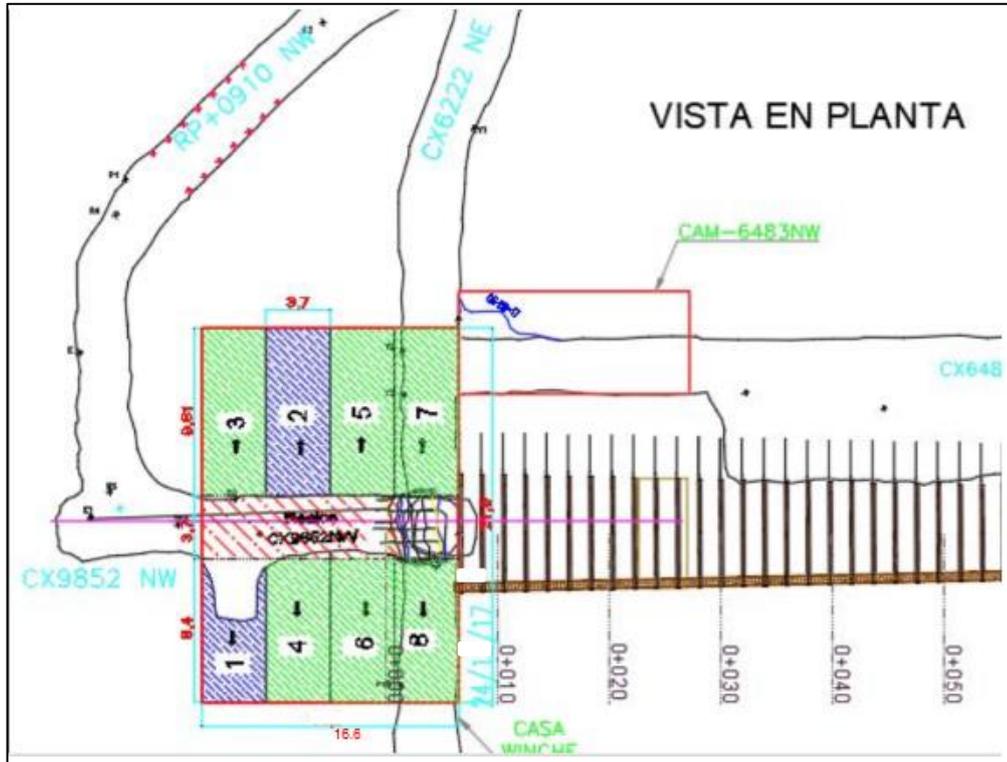
La evaluación geomecánica influye directamente en la excavación y sostenimiento de la Cámara para el Winche de Producción sin que se tenga problemas de inestabilidad.

#### **4.3.3. Excavación de la Cámara Winche**

##### **a. Etapa N° 01**

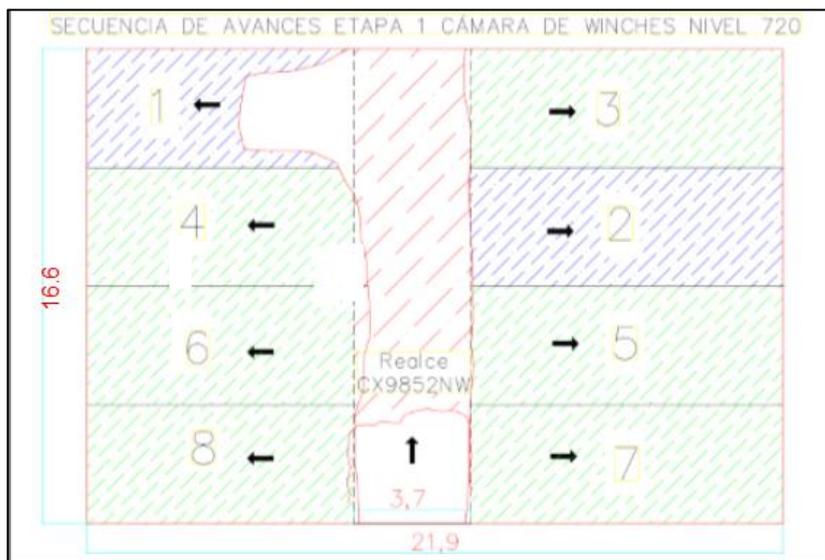
Para la excavación de la parte alta de la Cámara Winche se va a dividir la zona en 8 frentes de 3.7 m (altura) x 3.6 m (ancho) aprovechando la geometría actual de la labor, la imagen siguiente muestra la secuencia de avances propuesta para la ejecución de las labores de excavación (ver figura 40).

Gráfico N° 40: División en zonas para la excavación de la Cámara para el Winche



Fuente: (Área de Topografía DC Mining S.A., 2019)

Gráfico N° 41: Secuencia de avance en la Cámara para el Winche de Producción



Fuente: (Área de Topografía DC Mining S.A., 2019)

La secuencia de avance inicia con el realce del techo en el CX 9852 NW (ver figura 40), luego se trabaja los frentes N°1 y N°2 (ver figura 41) en voladuras de frente completo intercaladas con arranque y luego se trabajan los frentes de desquinche en secuencia empezando por los frentes N°3, N°4 con voladuras intercaladas, posteriormente los frentes N°5 y N°6 y por último los frentes N°7 y N°8.

### **1. Realce del techo en CX 9852 NW:**

La excavación para el realce y desquinche a lo largo del crucero CX 9852 NW se realiza hasta completar una sección de 3.7 m (ancho) x 3.6 m (altura) a lo largo del ancho de la Cámara Winche de 16.6 m. La perforación y voladura de este realce se hace en tipo breasting controlando el contorno con explosivo de baja densidad y cordón detonante P80. La perforación del frente se realiza con Jack Leg a 8 pies sobre carga de desmonte. Una vez completados los 16.6 m de realce de esta zona se procede con la instalación de sostenimiento con pernos de Cable Bolting en el techo.

#### **1.1 Excavación de los frentes N°1, N°2.**

En estos frentes se perforan el arranque con 5 taladros de alivio de 76 mm c/u; para el frente 1 se tiene taladros de alivios intermedios en el hastial derecho (pared final) y en el techo para evitar sobre rotura del terreno; en el frente 2 solo se tendrá alivios en techo puesto que ninguno de sus hastiales es pared final.

#### **1.2 Excavación de los frentes N°3, 4, 5, 6, 7, 8.**

La excavación de estos frentes se realiza mediante voladuras de desquinche aprovechando las caras libres generadas en

la excavación de los frentes N°1 y N°2. La excavación se iniciará en avanzada desde el ingreso por el CX 9852 NW iniciando con los frentes N°3, N°4, posteriormente con los frentes N°5, N°6 y completando la excavación con los frentes N°7, N°8. Los frentes de pared final como lo son los N°3, N°7 y N°8 tendrán taladros de alivio adicionales en hastiales donde será pared final, con el fin de controlar mejor la sección y evitar sobre rotura del terreno.

#### **4.3.4. Sostenimiento según la evaluación geomecánica**

Según la evaluación geomecánica, se establecen un tipo de sostenimiento con Shotcrete primario de 2", posteriormente Malla electrosoldada con Pernos Helicoidales de 7' espaciados a 1.2 m x 0.85 m en cada voladura, luego de los frentes propuestos, se colocan pernos de cable Bolting de 7.0 m espaciados 1.5 m x 1.5 m instalados cada vez que se vaya completando la excavación de cada frente propuesto y por último se completa el espesor de Shotcrete a 4" una vez realizada toda la excavación de la primera etapa de la Cámara Winche.

##### **1. Sostenimiento frente realce de techo en CX 9852 NW.**

Para el avance del frente el sostenimiento en techo va ser con Malla electrosoldada y Pernos Helicoidales de 7' espaciados 1.2 m x 0.85 m, el espaciamiento entre filas es menor al recomendado para poder realizar el traslape de la malla que mide 2 m de ancho, para el caso de los hastiales al no ser pared final se instala un soporte temporal de sacrificio con malla electro-soldada hasta la gradiente de la labor (1 m del piso) con pernos Split Set de 5' espaciados 1.2 m x 0.85 m. Una vez completado el avance del

frente se procede a instalar cable Bolting de 7.0 m espaciados a 1.5 m x 1.5 m.

### **1.1 Sostenimiento del frente N°1**

Para este frente el sostenimiento será con Malla electrosoldada y Pernos Helicoidal de 7' espaciados 1.2 m x 0.85 m en techo, hasta el piso en hastial derecho y tope; el hastial izquierdo al no ser pared final se instala sostenimiento de sacrificio con malla electrosoldada hasta la gradiente de la labor (1 m del piso) con pernos Split Set de 5' espaciados 1.2 m x 0.85 m. Una vez completado el avance se procede a instalar cable Bolting de 7.0 m espaciados a 1.5 m x 1.5 m, inyectado con una bomba P12-Sprayboy-Putzmeister y tensionados con una Gata tensora Enerpark.

### **1.2 Sostenimiento del frente N°2**

Para este frente el sostenimiento será con Malla electrosoldada y Pernos Helicoidal de 7' espaciados 1.2 m x 0.85 m en techo y hasta el piso en tope, los hastiales al no ser pared final se instala sostenimiento de sacrificio con Malla electrosoldada hasta la gradiente de la labor (1 m del piso) con pernos Split Set de 5' espaciados 1.2 m x 0.85 m. Una vez completado el avance se procede a instalar cables Bolting de 7.0 m espaciados a 1.5 m x 1.5 m.

### **1.3 Sostenimiento de los frentes N°3, 7 y 8**

Para estos frentes el sostenimiento será con Malla electrosoldada y Pernos Helicoidal de 7' espaciados 1.2 m x 0.85 m en techo, hasta el piso en hastial izquierdo en los frentes N°3, N°8, hasta el piso en hastial derecho del frente N°7, y tope; el hastial derecho de los frentes N°3, N°8 y el

hastial izquierdo del frente N°7 son caras libres generadas por voladuras de frentes previos. Una vez completado el avance se procede a instalar cables Bolting de 7.0 m espaciados 1.5 m x 1.5 m.

#### **1.4 Sostenimiento de los frentes N°4, 5, 6**

Para estos frentes el sostenimiento será con Malla electrosoldada y Pernos Helicoidal de 7' espaciados 1.2 m x 0.85 m en techo y hasta el piso en tope, el hastial derecho en el frente N°5 y el hastial izquierdo en los frentes N°4, N°6; al no ser paredes finales se instala sostenimiento de sacrificio con malla electrosoldada hasta la gradiente de la labor (1 m del piso) con pernos Split Set de 5' espaciados 1.2 m x 0.85 m. Una vez completado el avance se procede a instalar cables Bolting de 7.0 m espaciados 1.5 m x 1.5 m.

Los cables para instalar de acuerdo con la recomendación del Departamento de Geomecánica son pernos con cabeza expansiva que deben ser pre-tensionados a 15 toneladas y posteriormente inyectados con lechada de cemento.

Una vez completada la excavación se procede a lanzar Shotcrete para completar 4" de espesor.

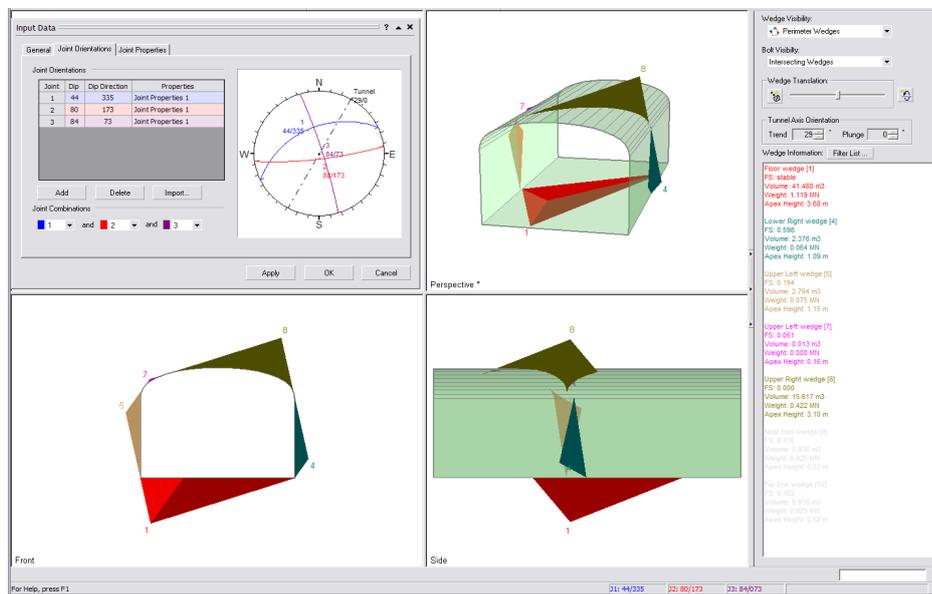
#### **Estabilidad estructuralmente controlada**

Para analizar la estabilidad, se ha utilizado el programa UNWEDGEV.3.004 de Rocscience Inc. (2004) para analizar la formación de cuñas y la estabilidad de las mismas. Según este análisis se observan formación de cuñas inestables tanto en el techo y en las paredes de la excavación, por lo que se requirió el uso obligatorio de sostenimiento.

Los resultados del análisis indican que en el techo se requiere uso de pernos cementados ubicados de manera sistemática con espaciados de

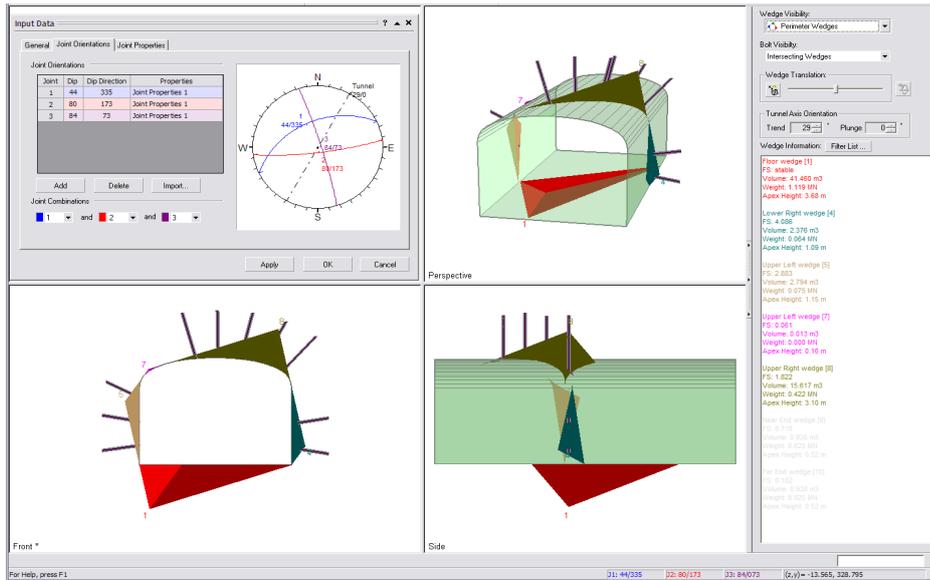
1.75 m y longitud de 4 m. En las paredes se requiere pernos de 3 m de longitud y espaciamiento sistemático de 2 m. También se logra la estabilidad aplicando una capa de shotcrete reforzado de 2" de espesor (ver figura 42). Como los Pernos Helicoidales son de 7 pies de longitud, para cumplir con los resultados del programa UNWEDGEV.3.004, se utilizarán los cables Bolting de 7 m de longitud.

*Gráfico N° 42: Formación de cuñas en el techo y paredes utilizando el programa Unwedge*



Fuente: (Departamento de Proyectos- Yauricocha, 2019)

*Gráfico N° 43: Estabilización de cuñas en el techo y paredes utilizando pernos cementados*



Fuente: (Departamento de Proyectos- Yauricocha, 2019)

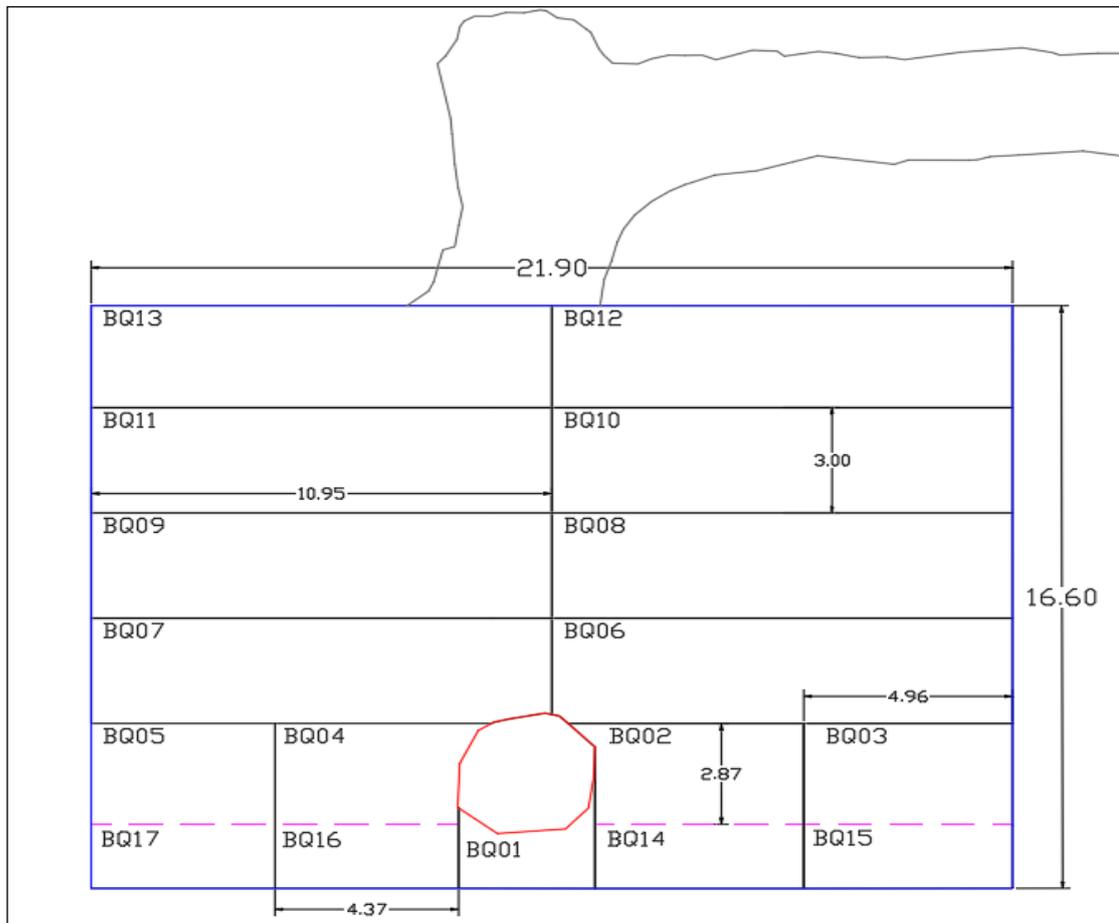
#### 4.3.5. Etapa N° 02 de perforación, voladura y sostenimiento - Banqueo

La evaluación geomecánica influye directamente en la excavación y sostenimiento de la Cámara para el Winche de Producción sin que se tenga problemas de inestabilidad.

##### a. Etapa N° 02

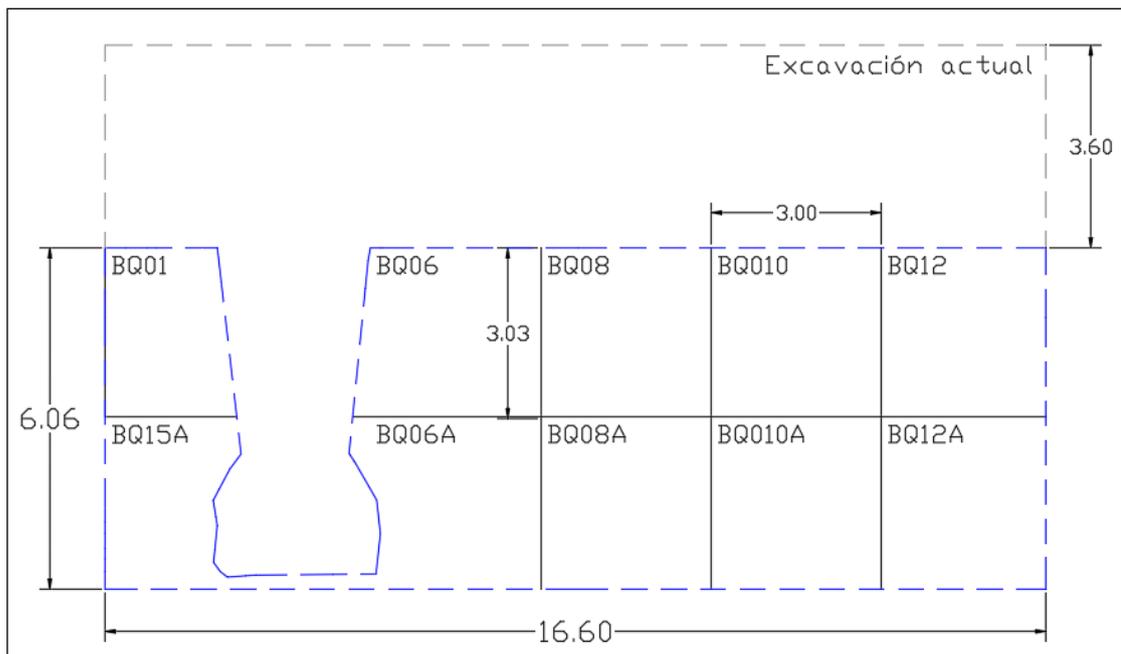
Según la evaluación geomecánica, para realizar la excavación de la etapa II por medio del método de banqueo (método usado en los piques), se subdivide la Cámara Winche en 17 áreas de trabajo (ver figura 44); 12 de las cuales, debido al método de excavación a emplear, van a contar con su contraparte inferior. En las siguientes ilustraciones, se aprecia la secuencia de avance considerada:

Gráfico N° 44: Vista en planta de la secuencia de avances de la etapa II – Banqueo



Fuente: (Área de Topografía DC Mining S.A., 2019)

Gráfico N° 45: Vista en perfil de la secuencia de avances de la etapa II – Banqueo



Fuente: (Área de Topografía DC Mining S.A., 2019)

La secuencia de avance inicia con la apertura total de la cara libre por medio de la voladura del bloque 01 (ver figura 45) la cual garantizará llegar al hastial sur final y a una altura respecto al techo de aproximadamente 6.06 m. La secuencia de avance se dará en sentido sur-norte y este-oeste.

## **1. Banqueo**

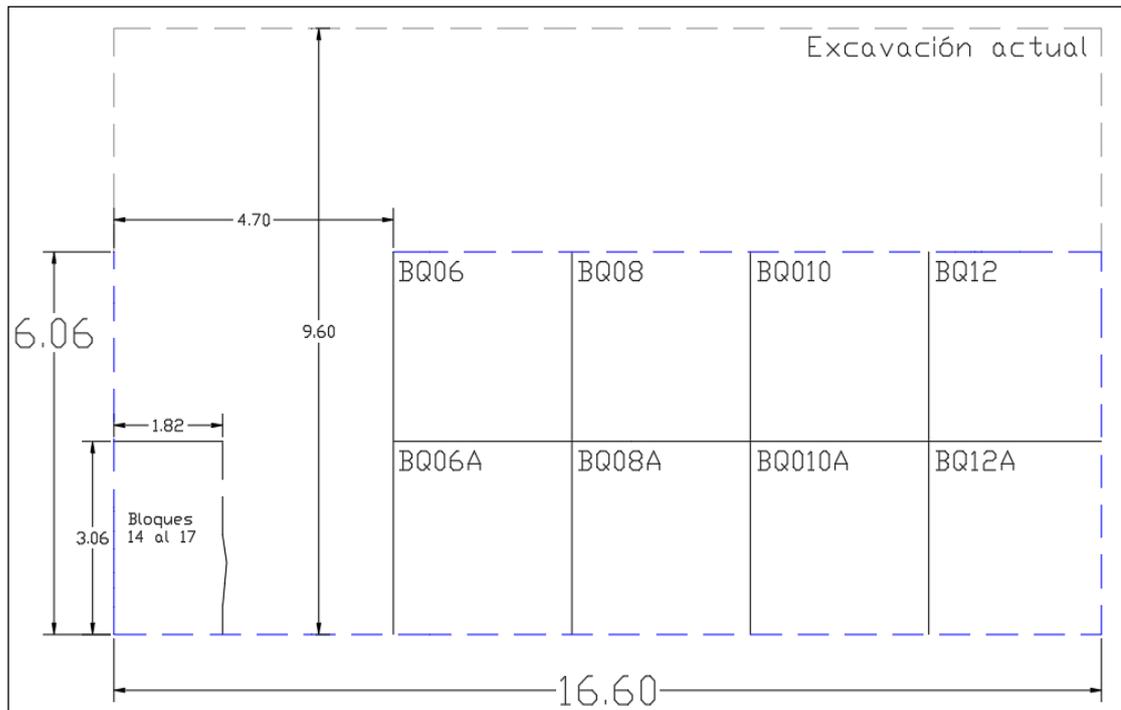
Es importante tener presente que la secuencia aquí presentada se cumple de igual manera para el desarrollo de los bloques de numeración impar (ver figura 45– vista en planta de la secuencia de avances). En ese orden de ideas, la realización del banqueo tomará un total de 25 voladuras.

Debido a las diferencias de cota (3.0 m y 6.0 m) que se tendrá en el proceso constructivo de la Cámara Winche, es imperativo el uso del arnés de seguridad con doble línea de anclaje y el uso de la línea de vida (cable acerado de  $\frac{3}{4}$ " de diámetro) instalada con pernos de ojo con cabeza expansiva en el área de trabajo.

### **1.1. Excavación de los bloques 2, 3, 4 y 5**

El diseño de avance de los bloques 2 al 5 se hizo de tal manera que se garantizará la apertura a una altura final (9.6m) de la excavación a lo largo de la proyección del XC 6222 NE; sin embargo, las excavaciones actuales (XC 6222 NE y Cámara Winche) obligan a dejar un pilar, el cual configura los bloques 14 al 17. La siguiente ilustración devela lo expresado (ver figura 46). Excavación de los bloques 2 al 5, generación de los bloques 14 al 17 y altura final de la excavación.

Gráfico N° 46: Excavación de los bloques 2 al 5 / Generación de los bloques 14 al 17 /  
 Altura final de la excavación



Fuente: (Área de Topografía DC Mining S.A., 2019)

En el diseño de la malla se considera un espaciamiento a la cara libre de 64 cm, un espaciamiento entre taladros de 67 cm y un burden entre filas de 0.72 cm. Para el control de las paredes finales y temporales, se consideran perforaciones cada 40 cm, con sus respectivos taladros de alivio cada 20 cm.

### 1.2. Excavación de los bloques de numeración par

Estos frentes se van a avanzar direccionando las voladuras hacia el lado sur de la excavación y en avanzada hacia el lado norte. Se diseñan con un espaciamiento hacia la cara libre de 40 cm, un espaciamiento entre taladros de 73 cm y un burden entre filas de 65 cm. Para el control de las paredes finales y temporales se consideran perforaciones cada 65 cm con sus respectivos taladros de alivio cada 32.5 cm.

### **1.3. Excavación de los bloques de numeración impar**

La excavación de estos bloques requiere doble cara libre; hacia el lado este tenemos un espaciamiento de 73 cm y hacia el lado sur un espaciamiento de 40 cm. Contamos con un espaciamiento entre taladros de 73 cm y un burden entre filas de 65 cm. Para el control de las paredes finales y temporales se consideran perforaciones cada 65 cm y 73 cm respectivamente, con sus taladros de alivio espaciados 32.5 cm y 36.5 cm

### **1.4. Excavación de los bloques 14 al 17**

Debido a la cercanía que se tiene a la subestación eléctrica y con el objetivo de proteger los elementos que aún están presentes, se hace necesario subdividir las últimas voladuras en 4. Para los bloques 14 y 15 se tiene un espaciamiento entre taladros de 65 cm y un burden entre filas de 70 cm considerando igualmente para la pared final taladros de pre corte espaciados cada 25 cm. Para los bloques 16 y 17, contamos con un burden y un espaciamiento de 65 cm en ambos casos y las perforaciones de pre-corte espaciadas cada 25 cm.

#### **4.3.6. Sostenimiento**

##### **Sostenimiento aplicando el MGE**

Para la aplicación de este criterio de análisis se ha utilizado el Método Gráfico de Estabilidad (MGE). La aplicación de dicha metodología permite ingresar como datos de entrada las características estructurales, calidad de la masa rocosa, esfuerzo actuante alrededor de la excavación y dimensión de la excavación.

Teniendo presente que la excavación está alineada con N 29° E se ha realizado el análisis de la estabilidad en el techo de la Cámara Winche y en las cuatro paredes laterales para las dimensiones consideradas de 12 m de ancho, 9 m de altura y 19 m de longitud.

Al realizar el análisis de la estabilidad en el techo, se observa en el gráfico de estabilidad (ver figura 47), para la dimensión proyectada de la Cámara Winche, el grado de estabilidad cae en la región estable con sostenimiento opcional. El sostenimiento en este caso sería con cables espaciados entre 1.8 m y 2.5 m con longitud de 7.7 m.

*Gráfico N° 47: Resultados del análisis por el MGE en el techo*



Fuente: (Departamento de Proyectos- Yauricocha, 2019)

En el caso de las paredes se ha analizado de manera independiente las cuatro paredes. Para el caso de la pared más larga (), la estabilidad está definida por la pared NW (situación crítica), ver figura 48. En este caso el grado de estabilidad cae en la región estable sin sostenimiento, pero en este caso si se utilizará el sostenimiento para las paredes SE y NW.

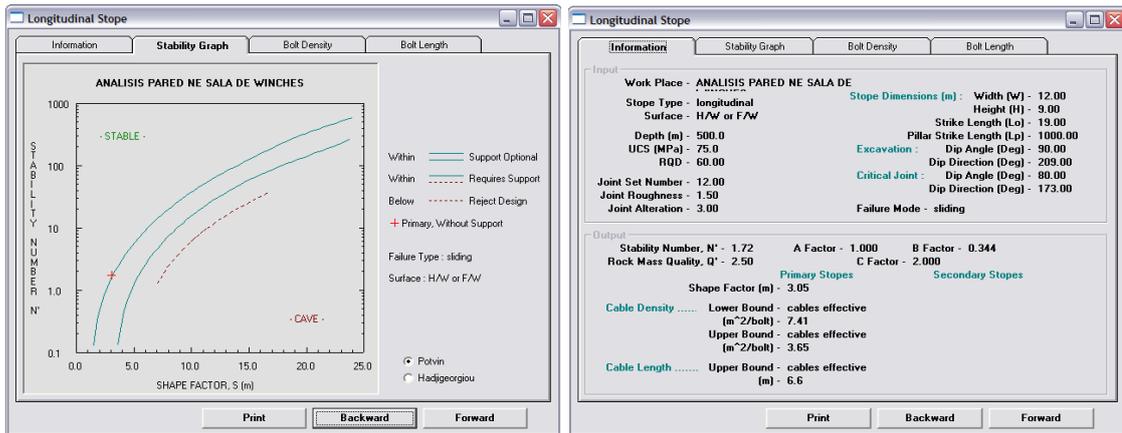
*Gráfico N° 48: Resultados del análisis por el MGE en la pared NW (paralelo al eje)*



Fuente: (Departamento de Proyectos- Yauricocha, 2019)

Para las paredes de los extremos (paredes NE y SW), la estabilidad está definida por la pared NE (situación crítica), ver figura 49. El grado de estabilidad cae en el límite de la región estable sin sostenimiento y estable con sostenimiento opcional.

Gráfico N° 49: Resultados del análisis por el MGE en la pared NE (perpendicular al eje)



Fuente: (Departamento de Proyectos- Yauricocha, 2019)

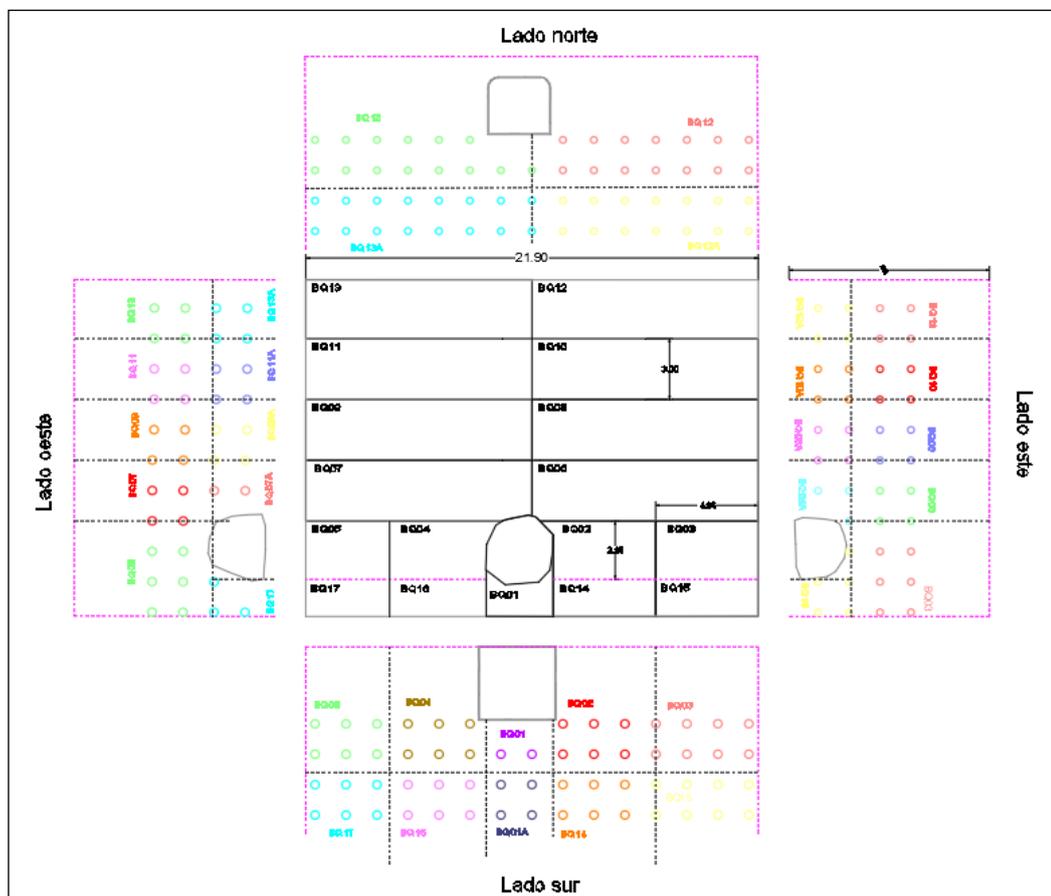
El sostenimiento de la labor se va a realizar de acuerdo con las recomendaciones geomecánicas de la compañía; en la cual se establecen un tipo de sostenimiento con Shotcrete primario de 2", posteriormente Malla electrosoldada con Pernos Helicoidales de 7' espaciados a 1.2 m x 0.85 m en cada voladura de los frentes propuestos, con pernos de cable Bolting de 7.0 m espaciados 1.5 m x 1.5 m instalados cada vez se vaya completando la excavación de cada frente propuesto y por último se completa el espesor de Shotcrete a 4" una vez realizada toda la excavación de la primera etapa de la Cámara Winche.

De manera sistemática y en avanzada sentido sur-norte y este-oeste, se hace necesaria la instalación de sostenimiento temporal en los bancos; empleándose para este sostenimiento Malla electrosoldada de 4"x 4" x 2.0 m y pernos Split Set de 5' espaciados a 1.2 m x 0.85 m.

Por otra parte, en todas las paredes finales (lados sur, este, norte y oeste) se procederá con la instalación de Pernos Helicoidales de 7' distribuidos a 1.2 m x 0.85 m, más Malla Electrosoldada de 4" x 4" x 2 m y pernos Split Set de 2' puntuales para el ajuste de la malla a la roca.

De igual manera, el sostenimiento estará acompañado de la instalación de cables Bolting de 5/8" de diámetro por 7.0 m de longitud, espaciados a 1.5 m x 1.5 m siguiendo la distribución que se muestra a continuación (ver figura 50):

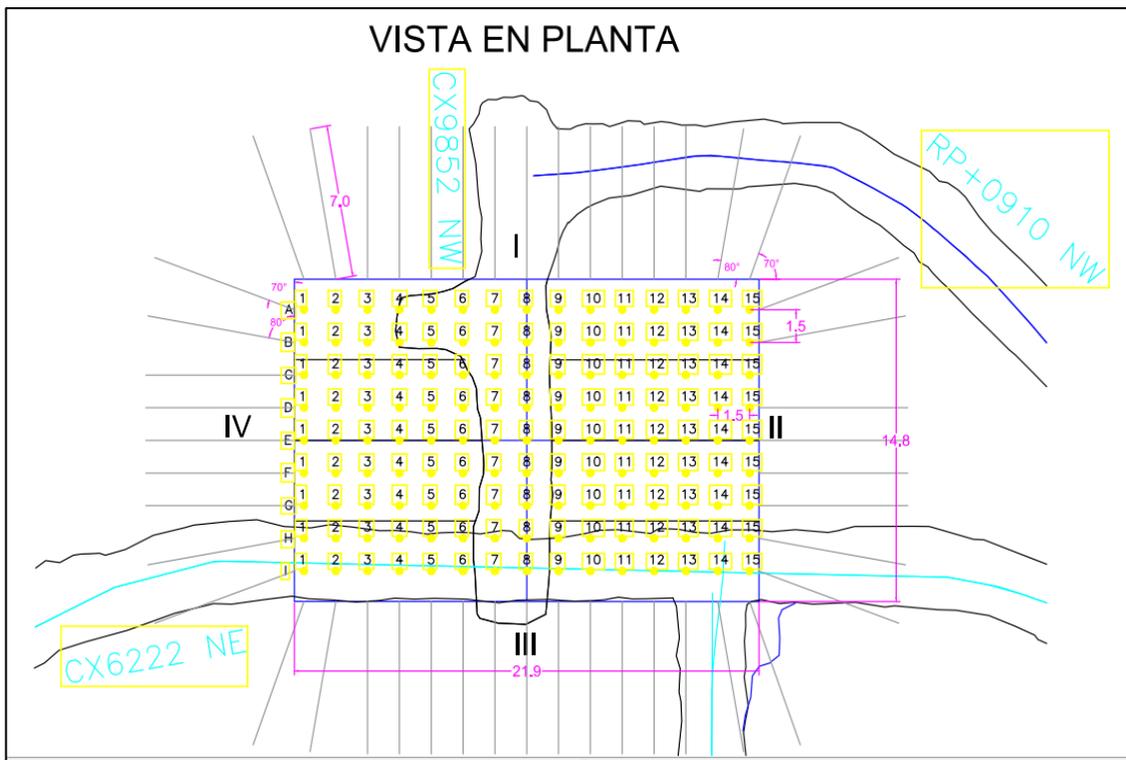
Gráfico N° 50: Distribución en las paredes finales de los cables Bolting por 7.0m /  
Distribución bloque a bloque



Fuente: (Área de Topografía DC Mining S.A., 2019)

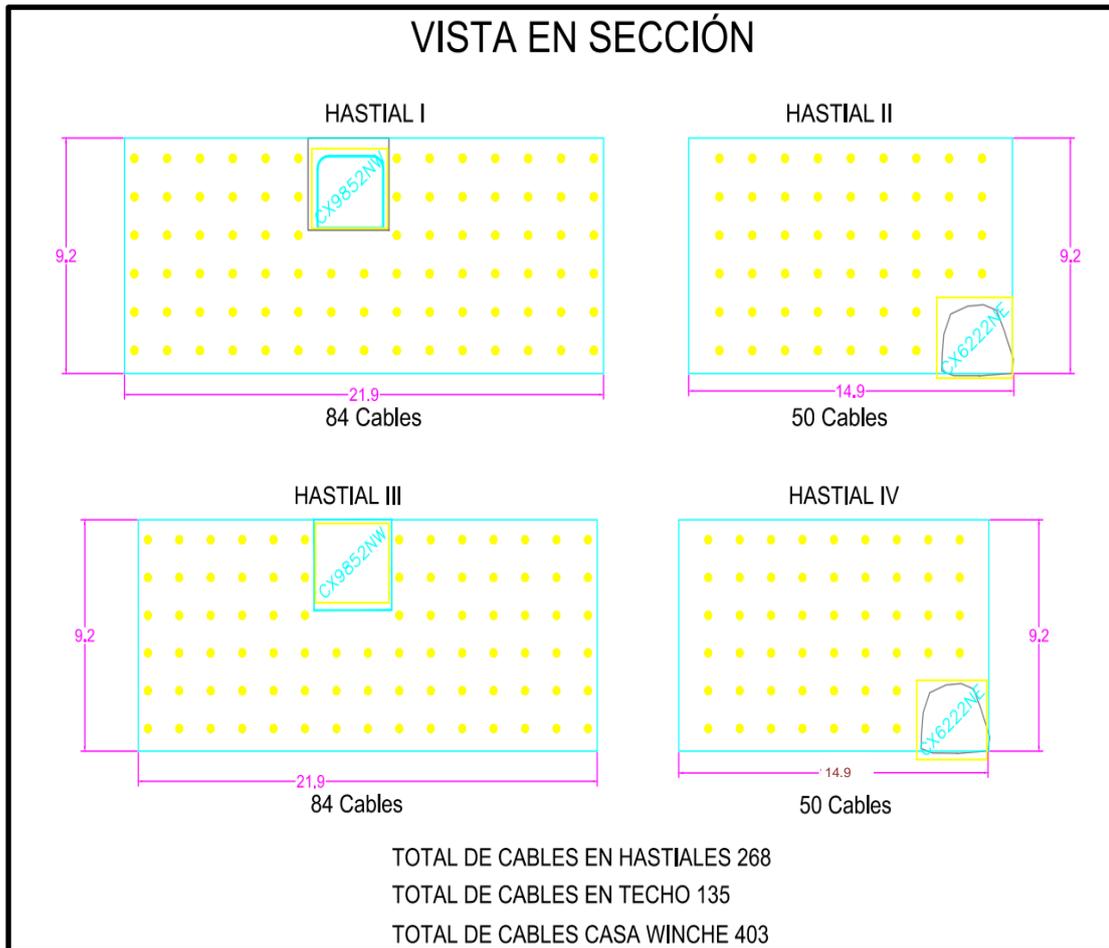
A continuación se muestra la cantidad de cable Bolting utilizado en el sostenimiento de la Cámara para el Winche de Producción (ver figura 51 y figura 52).

Gráfico N° 51: Distribución en las paredes finales de los cables Bolting por 7.0m



Fuente: (Área de Topografía DC Mining S.A., 2019)

Gráfico N° 52: Cantidad total de Cable Bolting utilizado



Fuente: (Área de Topografía DC Mining S.A., 2019)

#### 4.4. Discusión de Resultados

A partir de los hallazgos encontrados, aceptamos la hipótesis general que establece que la evaluación geomecánica influye verdaderamente en la determinación del tipo de sostenimiento de la Cámara para el Winche de Producción del Nv. 720, en la unidad económica Yauricocha.

Estos resultados guardan relación con lo que sostienen Salazar (2020), Ríos (2019), Sandoval (2018), Quispe (2018), señalan que la evaluación geomecánica podría influir en la determinación del tipo de sostenimiento en las diferentes labores de la minería, como tajos, túneles, piques. Estos autores señalan que la evaluación geomecánica influye verdaderamente para

determinar el tipo de sostenimiento. Todo ello es acorde con lo que en este estudio se halla.

Pero en lo que no concuerdan el estudio de los autores en lo que respecta la hipótesis específica con la presente tesis es que ellos han considerado los costos de los tipos de sostenimiento para obtener la viabilidad del proyecto, llegando a analizarlos desde la perspectiva económica. En este estudio no se encuentran esos resultados.

Con respecto a la hipótesis específica, aceptamos que determinando el Factor de Seguridad de las labores, este influye verdaderamente en el sostenimiento de las diferentes labores mineras, puesto que con ello obtenemos la estabilidad de la labor según la evaluación de la relación entre las fuerzas resistentes y las fuerzas actuantes, donde el F.S. si es mayor a 1, el sistema es estable y si el F.S. es menor a 1, el sistema es inestable como lo menciona Ríos (2019), Quispe (2018). Todo ello concuerda con los resultados obtenidos en esta tesis.

Pero en lo que difiere el estudio de los autores de Salazar (2020), Pinilla (2018), Sandoval (2018), Huidobro (2018), Guamán y Mendieta, (2013), es que han considerado describir de manera minuciosa la descripción del macizo rocoso para determinar el tipo de sostenimiento en las labores mineras, describiendo propiedades del macizo rocoso como densidad, humedad, porosidad, absorción, grado de saturación entre otros. En esta presente tesis no se encuentran esos resultados.

Y en lo que respecta a la hipótesis específica donde indico que la evaluación geomecánica influye directamente en la excavación y sostenimiento de la Cámara para el Winche de Producción sin que se tenga problemas de inestabilidad, difiere de los demás puesto que eh considerado que una vez definido los sistemas de sostenimiento a utilizar en la Cámara para el Winche de Producción, se describe el procedimiento de la perforación, voladura y

sostenimiento, con el fin de poder describir el procedimiento en la construcción de la Cámara Winche y ampliar el conocimiento en el proceso constructivo de una gran obra.

Verificando los resultados obtenidos, opino que todo conocimiento basado en la observación directa en campo y el tratamiento estadístico, así como la experiencia laboral, el aporte de diversos trabajos académicos en evaluación geomecánica permite la obtención de los buenos resultados en un proyecto de gran envergadura como lo es en la realización de la Cámara para el Winche de Producción.

## CONCLUSIONES

1. La evaluación geomecánica de la Cámara para el Winche de Producción, nos ha permitido poder determinar el tipo de sostenimiento que mejor se adecue en la estabilidad de la labor así como la manera correcta y eficaz para realizar la excavación de la Cámara y obtener el diseño de infraestructura, sin que ocurra el colapso inminente de la labor.
2. En definitiva, se determinó que el sistema de sostenimiento de la Cámara para el Winche de Producción sería: Perno Helicoidal Sistemático de 7 pies, más Malla electrosoldada espaciados a 1.2 m x 0.85 m acompañado de Split Set de 5 pies y 2 pies. Para un span de 16.6 m y 21.0 m se requiere Cables Bolting de 7.0 m, Ø15.24 mm espaciados: 1.5 m X 1.5 m, mas Shotcrete de 4" con 35 kg Fibra/m<sup>3</sup>.
3. El factor de seguridad influye significativamente en el sostenimiento de la Cámara para el Winche Producción, utilizando el programa RocSupport Versión 3.002 de Rocscience Inc (2004), el cual permite utilizar los parámetros de resistencia de la roca intacta y masa rocosa para estimar el grado de estabilidad mediante la región plástica y el requerimiento de sostenimiento para mantener condiciones de estabilidad satisfactorias. Los resultados indican que utilizando pernos cementados espaciados a 1.5 m se consigue mejorar la estabilidad cerca de un factor de seguridad de 1.2, lo cual no es suficiente para la estabilización, requiriendo adicionalmente una capa de shotcrete de por lo menos 75 mm de espesor, con lo cual la estabilidad mejora.
4. Para realizar la excavación de la Cámara para el Winche de Producción, se dividió el trabajo en 2 etapas. En la etapa N° 01 (Breasting) se realiza la excavación en frentes y en la etapa N° 02 (Banqueo) se realiza siguiendo el método de excavación en los piques, en abertura vertical, que es el banqueo.

En ambos procesos, la evaluación geomecánica influyó significativamente tanto para la abertura inicial como para el sostenimiento.

## RECOMENDACIONES

1. Las evaluaciones geomecánicas deben de ser continuas, se deberá inspeccionar los sistemas de sostenimiento mediante pruebas de Pull Test y cargas puntuales a fin de garantizar la estabilidad de la excavación y hacer el seguimiento continuo de los sistemas de sostenimiento de la Cámara Winche, a fin de garantizar la seguridad del personal en los trabajos posteriores de obras Civiles y Montaje de estructuras.
2. Sería recomendable que se realice mediciones de seguridad dinámicos, siendo el coeficiente sísmico el factor interviniente, para obtener mejores detalles en cuanto a lo que ocurriría el comportamiento de la Cámara Winche ante un sismo.
3. Siendo la humedad un factor influyente en la estabilidad del macizo rocoso, se deberá implementar sistemas de drenaje en toda la Cámara Winche a fin de minimizar los efectos negativos que este produce en la estabilidad.
4. Es recomendable que siempre se lleve los controles de calidad relacionados al sostenimiento de pernos y shotcrete, antes, durante y después de su instalación. En la preparación previa de los sistemas de sostenimientos (antes), en el procedimiento en su instalación (durante) y en la verificación del rendimiento del sostenimiento (después).

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. **Área de Topografía DC Mining S.A., Yauricocha. 2019.** *Plan de Trabajo Excavación de Cámara Winche de Producción Etapa 1-Breasting.* Yauyos-Lima : DC Mining S.A., 2019.
2. **Área de Topografía DC Mining S.A., Yauricocha. 2019.** *Plan de Trabajo Excavacion de Cámara Winche de Producción Etapa 2-Banqueo.* Yauyos-Lima : DC Mining S.A., 2019.
3. **Departamento de Geología-Sociedad Minera Corona S.A., SMCSA. 2019.** *Geología General del Area de la Mina.* Yauyos-Lima : Sociedad Minera Corona S.A., 2019.
4. **Departamento de Geomecánica-Sociedad Minera Corona, SMCSA. 2019.** *Esfuerzos en la Camara Winche.* Lima. Lima : Sociedad Minera corona S.A., 2019. pág. 25, Informe Interno.
5. **Departamento de Geomecánica-Yauricocha, SMCSA. 2019.** *Evaluacion Geomecánica-Camara Winche.* Yauyos-Lima : Sociedad Minera corona S.A., 2019.
6. **Departamento de Proyectos- Yauricocha, SMCSA. 2019.** *Diseño de estructura Cámara Winche Nv. 720 .* Yauyos-Lima : Sociedad Minera Corona S.A., 2019.
7. **Estándar de Sostenimiento - Yauricocha, SMCSA. 2017.** *Estándar N° 10- Sostenimiento con Split Set.* Yauyos-Lima : Sociedad Minera Corona S.A., 2017.
8. **Estándar de Sostenimiento - Yauricocha, SMCSA. 2017.** *Estándar N° 05- Sostenimiento con Shotcrete.* Yauyos-Lima : Sociedad Minera Corona S.A., 2017.
9. **Estándar de Sostenimiento - Yauriocochoa, SMCSA. 2017.** *Estándar N°11- Sostenimiento con Perno Helicoidal.* Yauyos-Lima : Sociedad Minera Corona S.A., 2017.
10. **Gonzales de Vallejo, L. 1984.** Manual de Ingenieria Geologica. *Ingenieria Geologica en túneles.* [En línea] 1984. <https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&url=http://info.igme.es/SidP>

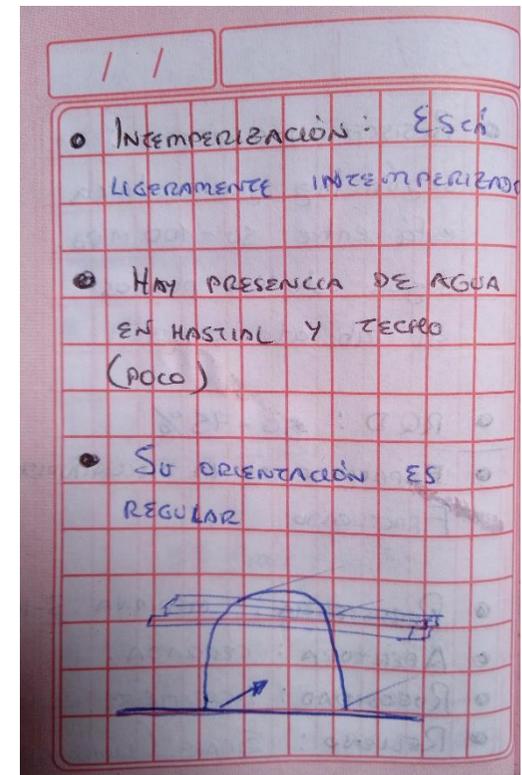
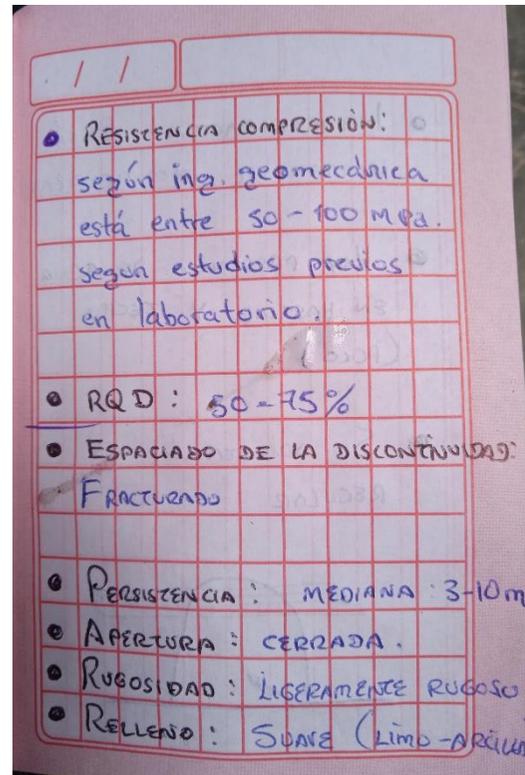
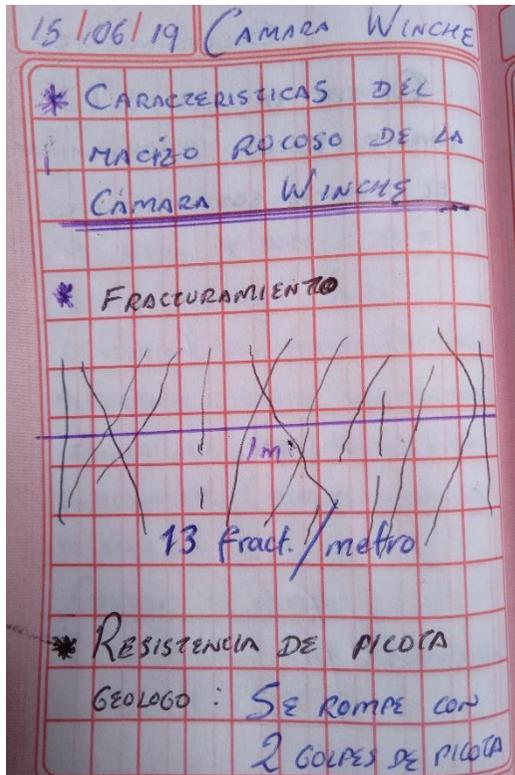
DF/067000/080/67080\_0001.pdf&ved=2ahUKEwiF36jr38XzAhXfD7kGHer\_BqcQF  
noECAMQAQ&usg=AOvVaw3P0ejfVPhY78adQTtWdCco.

11. **Gonzales de Vallejo, Luis. 2007.** *Manual de Campo para la Descripción y Caracterización de Macizos Rocosos en Afloramiento.* España : Instituto Geológico y Minero de España, 2007. ISBN:84-7840-708-1-(Guías y Manuales).
12. **Guamán García, Vladimir Ernesto y Mendieta Girón, Francisco Antonio. 2013.** *"Evaluación Geomecánica del Macizo Rcoso en la Cantera de Materiales de Construcción Las Victorias".* Universidad de Cuenca, Ecuador : 2013.
13. **Huidobro Nieto, Elvis Alex. 2018.** *Influencia de los Índices Geomecánicos RMR y GSI en la Construcción del Proyecto Pique Principal Marsa Unidad Minera San Andrés-Marsa.* Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, Cerro de Pasco : 2018.
14. **Loyola Malqui, Gerardo. 2013.** *Construcción del Pique 158E para la Optimización del Laboreo Minero en la Unidad de Paula-CEDIMIN S.A.C.* Universidad Nacional del Centro del Peru, Huancayo : 2013.
15. **Memoria Anual Sociedad Minera Corona S.A. 2019.** *Memoria Anual.* Lima : Sociedad Minera Corona S.A., 2019.
16. **OSINERGMIN. 2017.** Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería. [www.osinergmin.gob.pe](http://www.osinergmin.gob.pe). [En línea] 2017. [https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro\\_documental/mineria/Documentos/Publicaciones/Guia-Criterios-Geomecanicos.pdf](https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/mineria/Documentos/Publicaciones/Guia-Criterios-Geomecanicos.pdf).
17. **Pinilla Torres, Álvaro Andrés. 2018.** *"Evaluación Geomecánica para el diseño de nuevas alternativas de Explotación bajo tierra para la mina el Uvo Acerías Paz del Río S.A."*. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia UPTC, Sogamoso : 2018.
18. **Quispe Matos, Kenlly Anthony. 2018.** *Evaluación Geomecánica para la elección del tipo de sostenimiento en el túnel Yauricocha del Nv.720, Sociedad Minera Corona S.A.* Universidad Continental, Huancayo : 2018.

19. **Ramirez Oyanguren, Pedro y Alejano Monge, Leandro. 2004.** *Mecánica de Rocas: Fundamentos e Ingeniería de Taludes.* Madrid : s.n., 2004.
20. **Rios Bartolo, Ricardo. 2019.** *Evaluación Geomecánica para la determinación del tipo de Sostenimiento del Macizo Rocosó en los Túneles Carreteros "Los Ángeles".* Universidad Nacional Federico Villareal, Lima : 2019.
21. **Salazar Isla, Edgar Samir. 2020.** *Evaluación geomecánica para determinar el tipo de sostenimiento en tajeos de explotación por el método de corte y relleno ascendente Unidad Minera Yauricocha-Sociedad Minera Corona S.A.* Universidad Continental, Huancayo : 2020.
22. **Sanchez Ponce, Patrick Christian. 2018.** *Evaluación Geomecánica para el Dimensionamiento de Tajos en el Sistema de Explotación por Taladros Largos en la Unidad Minera Untuca Cori Puno S.A.* Universidad Nacional del Altiplano, Puno : 2018.
23. **Sandoval Bonilla, Francis Jean Marco. 2018.** *Estudio Geomecánico para un Optimo Diseño de la Excavación y sostenimiento - Mina Yauricocha S.A. región Lima.* Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, Cerro de Pasco : 2018.
24. **Velasquez Mamani, Jorge Luis. 2019.** *Sostenimiento con Cable Bolting para estabilizar el macizo rocoso en Minería Subterránea Mecanizada Unidad Pallancata-Compañía Minera Hoschields S.A.A.* Universidad Nacional del Altiplano de Puno, Puno : 2019.

## **ANEXOS**

Anexo 1: Instrumento de recolección de datos - Diario de campo donde se registra las características del macizo rocoso de la  
Cámara Winche



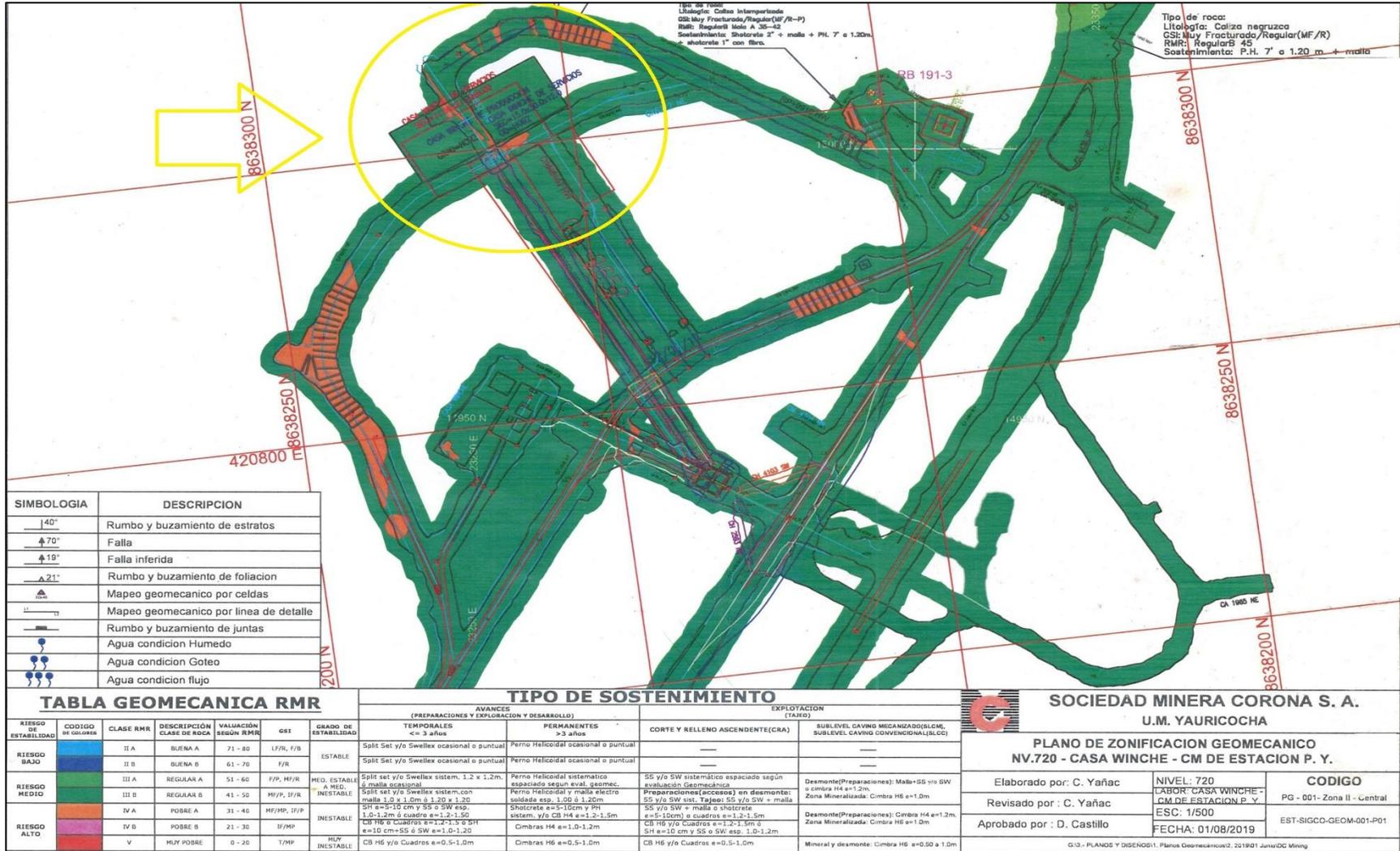
Fuente: Elaboración propia, 2019

## Anexo 2: Instrumento de recolección de datos - Guía de análisis documental. Mapeo Geomecánico por Celda de Detalle

| MAPEO GEOMECANICO - CELDAS  |   |  |            |         | LABOR  | PIQUE YAURICOCHA  | EJECUTADO                    | W. HUAMANI      |              |                  | CODIGO          |         |   |        |              |          |                 |          |    |   |   |
|---|---|--|------------|---------|--|-------------------|------------------------------|-----------------|--------------|------------------|-----------------|---------|---|--------|--------------|----------|-----------------|----------|----|---|---|
| ORIENTACION DE LA CARA  |   | TRAMO  |            |         | NIVEL  | 3760              | FECHA                        | 29/08/2018      |              |                  |                 |         |   |        |              |          |                 |          |    |   |   |
| AZIMUT  | BUZAMIENTO  | DESDE (m)  | HASTA (m)  | TOPE    | ZONA   | II                |                              |                 |              |                  |                 |         | VALORACION DEL MACIZO ROCOSO (BIENIAWSKY RMR '89) |        |              |          |                 |          |    |   |   |
| TIPO DE ROCA (Litología)  |   |  |            |         | PARAMETRO  |                   |                              |                 |              |                  |                 |         | RANGO DE VALORES                                  |        |              |          |                 |          |    |   |   |
| CALIZA NEGRA  |   |  |            |         | R.COMPRE.UNIAX (Mpa)                                       | > 250             | (15)                         | 100 - 250       | (12)         | 50 - 100         | (7)             | 25 - 50 | (4)   | <25(2) | <5(1)        | <1(0)    | NE              | SW       | SE |   |   |
| TIPO DISC.  | ORIENTACION   | ESPA.C. (Cm)   | RELLENO    |         | OBSERVACIONES  | RQD (%)           | 90 - 100                     | (20)            | 75 - 90      | (17)             | 75 - 50         | (13)    | 25 - 50   | (8)    | < 25         | (3)      | 13              | 13       | 13 |   |   |
| BUZAMIENTO  | DIREC. BUZ.   |  | TIPO       | ESPEJOR |  | ESPACIAMIENTO (m) | > 2                          | (20)            | 0.6 - 2      | (15)             | 0.2 - 0.6       | (10)    | 0.06 - 0.2  | (8)    | < 0.06       | (5)      | 8               | 8        | 8  |   |   |
| SJ1   | 55  | 60   | 0.06 - 0.2 | suave   | 0.1-1mm  | predominante      | CONDICION DE JUNTAS          | PERSISTENCIA    | < 1m long    | (6)              | 1 - 3 m long.   | (4)     | 3 - 10 m  | (2)    | 10 - 20 m    | (1)      | >20m            | (0)      | 2  | 2 | 2 |
| SJ1   | 68  | 50   | 0.06 - 0.2 | suave   | 0.1-1mm  | predominante      |                              | APERTURA        | Cerrada      | (6)              | <0.1 mm .apert. | (5)     | 0.1 - 1.0 mm                                      | (4)    | 1 - 5 mm     | (1)      | > 5 mm          | (0)      | 4  | 4 | 4 |
| SJ2   | 50  | 180  | 0.06 - 0.2 | suave   | 0.1-1mm  | predominante      |                              | RUGOSIDAD       | Muy Rugoso   | (6)              | Rugoso          | (5)     | Lig. Rugoso                                       | (3)    | Lisa         | (1)      | Espejo de Falla | (0)      | 3  | 3 | 3 |
| SJ2   | 46  | 190  | 0.06 - 0.2 | suave   | 0.1-1mm  | predominante      |                              | RELLENO         | Limpia       | (6)              | Duro<5 mm       | (4)     | Duro>5 mm   | (2)    | Suave < 5 mm | (1)      | Suave > 5mm     | (0)      | 1  | 1 | 1 |
| SJ1   | 65  | 54   | 0.06 - 0.2 | suave   | 0.1-1mm  | predominante      |                              | INTEMPERIZACION | Sana         | (6)              | Lig. Intemp.    | (5)     | Mod. Intemp.                                      | (3)    | Muy Intemp.  | (2)      | Descompuesta    | (0)      | 5  | 5 | 5 |
| SJ3   | 87  | 295  | 0.06 - 0.2 | suave   | 0.1-1mm  | No predomina      | AGUA SUBTERRANEA             | Seco            | (15)         | Humedo           | (10)            | Mojado  | (7)   | Goteo  | (4)          | Flujo    | (0)             | 7        | 7  | 7 |   |
|   |   |  |            |         | VALORACION TOTAL RMR BASICO ( Suma de valoraciones 1 a 5 ) |                   |                              |                 |              |                  |                 |         |   |        |              | RMR BAS. | RMR BAS.        | RMR BAS. |    |   |   |
|   |   |  |            |         | DIRECCION Y BUZAMIENTO TUNELES                             | Muy Favorable     | Favorable                    | Media           | Desfavorable | Muy Desfavorable |                 |         |   | 50-10  | 50-10        | 50-5     |                 |          |    |   |   |
|   |   |  |            |         | CLASE DE MACIZO ROCOSO                                     |                   |                              |                 |              |                  |                 |         |   |        |              | RMR AJ.  | RMR AJ.         | RMR AJ.  |    |   |   |
|   |   |  |            |         | RMR  | 100 - 81          | 80 - 61                      | 60 - 41         | 40 - 21      | 20 - 0           |                 |         |   | 40     | 40           | 45       |                 |          |    |   |   |
|   |   |  |            |         | DESCRIPCION  | I MUY BUENA       | II BUENA                     | III REGULAR     | IV MALA      | V MUY MALA       |                 |         |   |        |              |          |                 |          |    |   |   |
|   |   |  |            |         | RMR PROMEDIO   |                   |                              |                 |              |                  |                 |         |   |        |              |          |                 |          |    |   |   |
| GRAFICA   |   |  |            |         |  |                   |                              |                 |              |                  |                 |         |   |        |              |          |                 |          |    |   |   |
|   |   |  |            |         |  |                   |                              |                 |              |                  |                 |         |   |        |              |          |                 |          |    |   |   |
| INDICES DE RESISTENCIAS   |   |  |            |         |  |                   |                              |                 |              |                  |                 |         |   |        |              |          |                 |          |    |   |   |
| GRADO   | IDENTIFICACION EN EL CAMPO  |  |            |         | Rango de RCU (Mpa)   |                   |                              |                 |              |                  |                 |         |   |        |              |          |                 |          |    |   |   |
| R1  | Delesnable con los golpes firmes con la punta del martillo de geologo se desconcha con una cuchilla.                            |  |            |         | 1.0 - 5.0  |                   |                              |                 |              |                  |                 |         |   |        |              |          |                 |          |    |   |   |
| R2  | Se desconcha con dificultad con cuchilla, marcas poco profundas en la roca con golpe firme de martillo de geologo ( de punta ). |  |            |         | 5 - 25   |                   |                              |                 |              |                  |                 |         |   |        |              |          |                 |          |    |   |   |
| R3  | No se raya ni desconcha con el cuchillo. La muestra se rompe con golpe firme del martillo de geologo.                           |  |            |         | 25 - 50  |                   |                              |                 |              |                  |                 |         |   |        |              |          |                 |          |    |   |   |
| R4  | La muestra se rompe con mas de un golpe del martillo.   |  |            |         | 50 - 100   |                   |                              |                 |              |                  |                 |         |   |        |              |          |                 |          |    |   |   |
| R5  | Se requiere varios golpes de martillo para romper la muestra.   |  |            |         | 100 - 250  |                   |                              |                 |              |                  |                 |         |   |        |              |          |                 |          |    |   |   |
| R6  | solo se reompe esquirfas de la muestra con el martillo.   |  |            |         | > 250  |                   |                              |                 |              |                  |                 |         |   |        |              |          |                 |          |    |   |   |
| INDICES DE INTEMPERIZACION  |   |  |            |         |  |                   |                              |                 |              |                  |                 |         |   |        |              |          |                 |          |    |   |   |
| GRADO   | DESCRIPCION   |  |            |         |  |                   |                              |                 |              |                  |                 |         |   |        |              |          |                 |          |    |   |   |
| I   | SANA  | Ningun signo de intemperismo en el material rocoso. Quizá ligera decoloracion sobre superficies de discontinuidad principales.   |            |         |  |                   |                              |                 |              |                  |                 |         |   |        |              |          |                 |          |    |   |   |
| II  | LIGERO  | La decoloración indica intemperismo del material rocoso y superficies de discontinuidad. El material rocoso decolorado extremadamente es mas debil que su condición sana.  |            |         |  |                   |                              |                 |              |                  |                 |         |   |        |              |          |                 |          |    |   |   |
| III   | MODERADA  | Menos de la mitad de material rocoso esta descompuesto y/o desintegrado a un suelo. La roca sana o decolorada se presenta como un marco continuo o como un Mas de la mitad de material rocoso esta descompuesto y/o desintegrado |            |         |  |                   |                              |                 |              |                  |                 |         |   |        |              |          |                 |          |    |   |   |
| IV  | MUY INTEMP.   | desintegrado a un suelo . La roca sana o decolorada se presenta como un marco  |            |         |  |                   |                              |                 |              |                  |                 |         |   |        |              |          |                 |          |    |   |   |
| V   | DESCOMPUS.  | Todo el material rocoso esta descompuesto y/o desintegrado a suelo . La estructura original de la masa rocosa aun se conserva intacta.   |            |         |  |                   |                              |                 |              |                  |                 |         |   |        |              |          |                 |          |    |   |   |
|   |   |  |            |         | ESPACIAMIENTO  |                   | ABREVIATURA TIPOS DE RELLENO |                 |              |                  |                 |         |   |        |              |          |                 |          |    |   |   |
|   |   |  |            |         | 1  | > 2m              | Pz                           | Panizo.         |              |                  |                 |         |   |        |              |          |                 |          |    |   |   |
|   |   |  |            |         | 2  | 0.6 - 2.0 m       | Ca                           | Calcita         |              |                  |                 |         |   |        |              |          |                 |          |    |   |   |
|   |   |  |            |         | 3  | 0.2 - 0.6 m       | Bx                           | Brecha          |              |                  |                 |         |   |        |              |          |                 |          |    |   |   |
|   |   |  |            |         | 4  | 0.06 - 0.2 m      | Ox                           | Oxidos          |              |                  |                 |         |   |        |              |          |                 |          |    |   |   |
|   |   |  |            |         | 5  | < 0.06 m          | Ac                           | Arcillas        |              |                  |                 |         |   |        |              |          |                 |          |    |   |   |
|   |   |  |            |         |  |                   | Py                           | Pirita          |              |                  |                 |         |   |        |              |          |                 |          |    |   |   |
| Comentarios Adicionales   |   |  |            |         |  |                   |                              |                 |              |                  |                 |         |   |        |              |          |                 |          |    |   |   |
| Columna del pique con lado NE Y SW con superficie irregular   |   |  |            |         |  |                   |                              |                 |              |                  |                 |         |   |        |              |          |                 |          |    |   |   |
| sistema estructural predominante desfavorable fallo por deslizamiento   |   |  |            |         |  |                   |                              |                 |              |                  |                 |         |   |        |              |          |                 |          |    |   |   |
| y desprendimiento, el cual genera la sobre-excavacion en estos lados.   |   |  |            |         |  |                   |                              |                 |              |                  |                 |         |   |        |              |          |                 |          |    |   |   |
| sobre-excavacion de 0.5m a mas respecto al programado lado NE y SW  |   |  |            |         |  |                   |                              |                 |              |                  |                 |         |   |        |              |          |                 |          |    |   |   |
| en estos lados NE y SW se aprecia fragmentos de roca sobre la malla   |   |  |            |         |  |                   |                              |                 |              |                  |                 |         |   |        |              |          |                 |          |    |   |   |
| con riesgo de pasar por la cocada de la malla.  |   |  |            |         |  |                   |                              |                 |              |                  |                 |         |   |        |              |          |                 |          |    |   |   |
| lado NW y SE con superficie uniforme controlado.  |   |  |            |         |  |                   |                              |                 |              |                  |                 |         |   |        |              |          |                 |          |    |   |   |
| <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <span>GEOMECANICA</span> <span>EMPRESA ESPECIALIZADA</span> </div> |   |  |            |         |  |                   |                              |                 |              |                  |                 |         |   |        |              |          |                 |          |    |   |   |

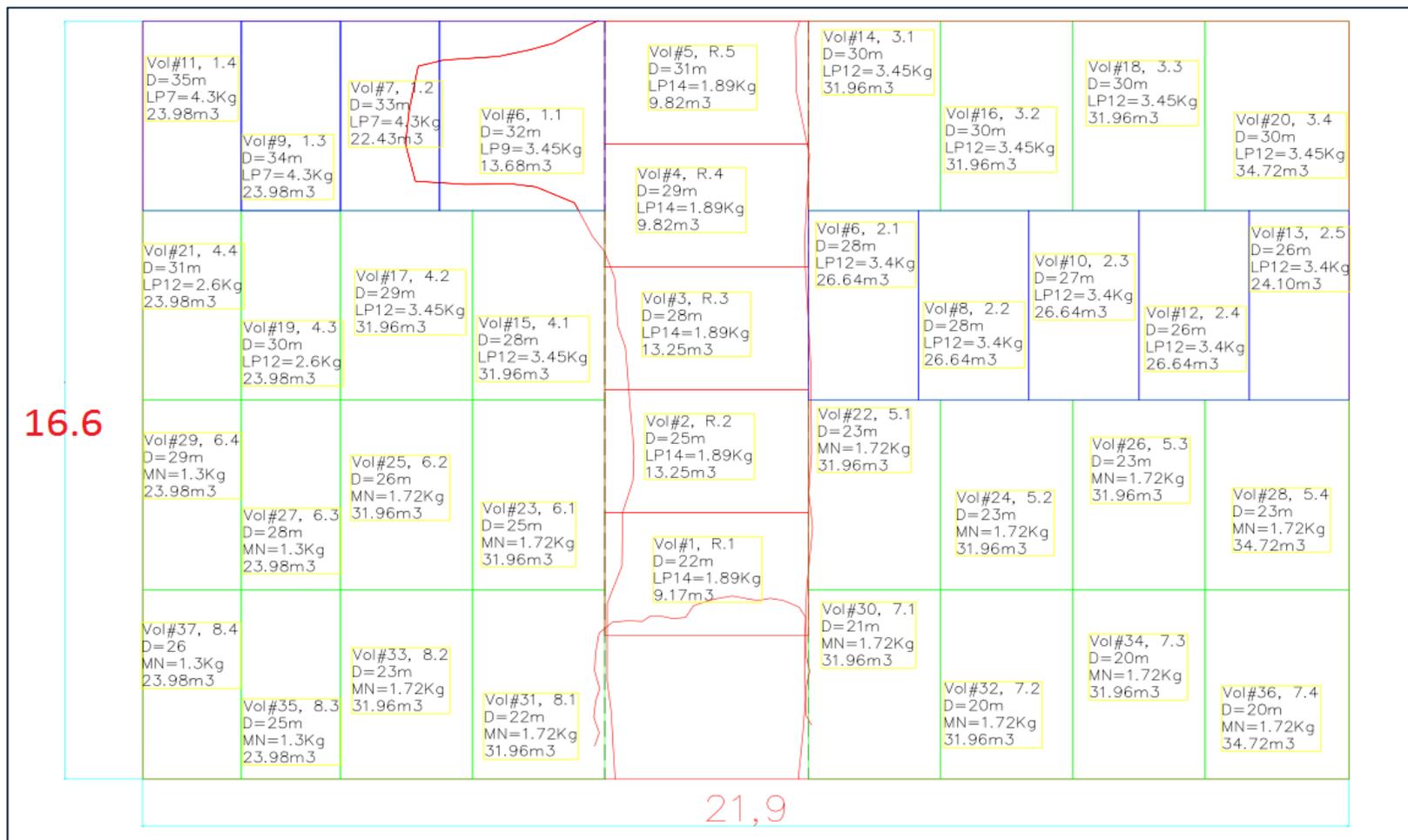
Fuente: (Departamento de Geomecánica-Yauricocha, 2019)

### Anexo 3: Instrumento de recolección de datos - Guía de análisis documental. Plano de zonificación geomecánica de la Cámara Winche



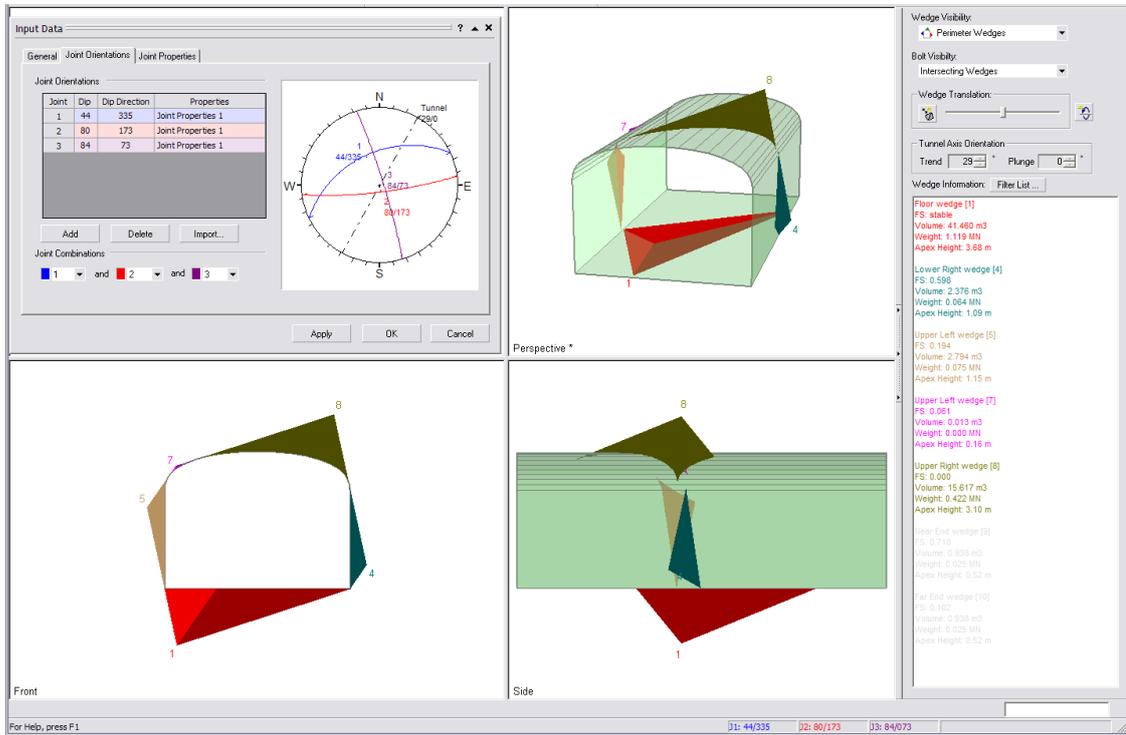
Fuente: (Departamento de Geomecánica-Yauricocha, 2019)

**Anexo 4: Instrumento de recolección de datos - Guía de análisis documental. Secuencia de voladura de la Cámara Winche**



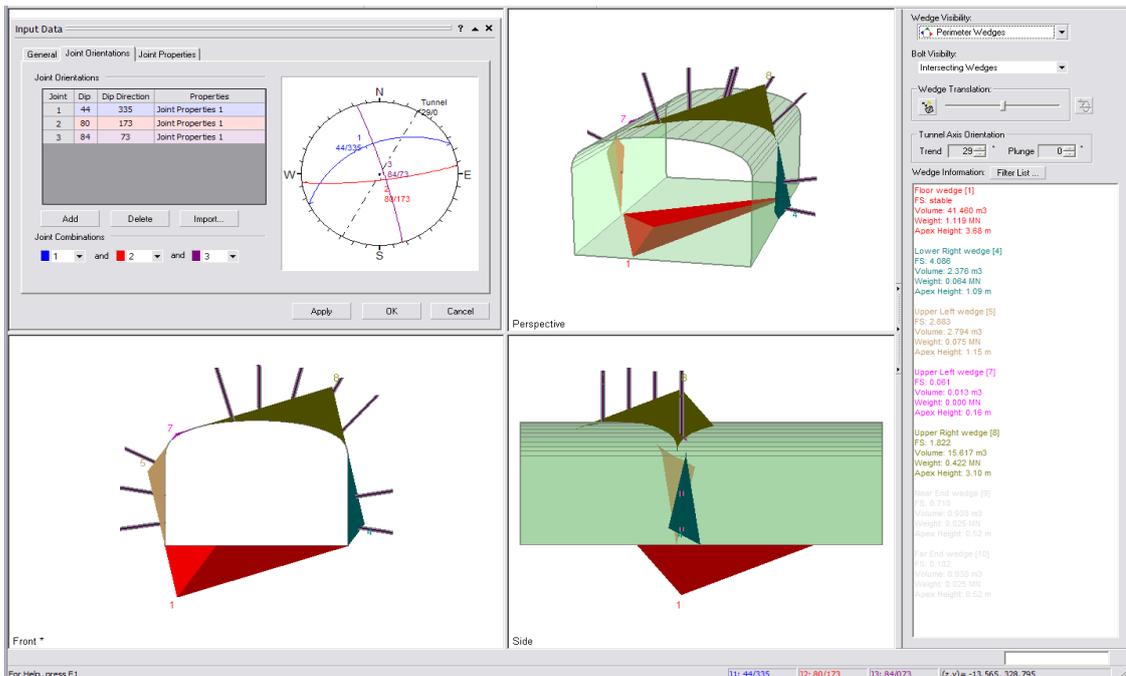
Fuente: (Área de Topografía DC Mining S.A., 2019)

## Anexo 5: Tratamiento estadístico - Formación de cuñas en el techo y paredes utilizando el programa Unwedge



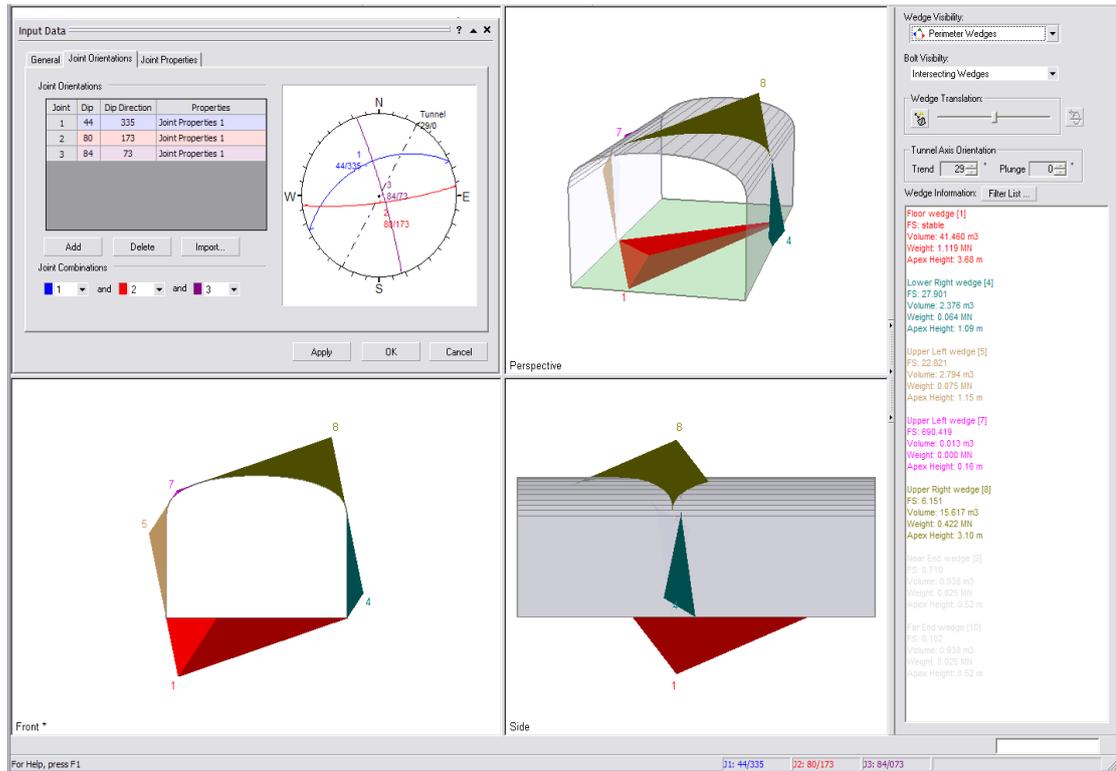
Fuente: (Departamento de Proyectos- Yauricocha, 2019)

## Anexo 6: Tratamiento estadístico - Estabilización de cuñas en el techo y paredes utilizando pernos cementados



Fuente: (Departamento de Proyectos- Yauricocha, 2019)

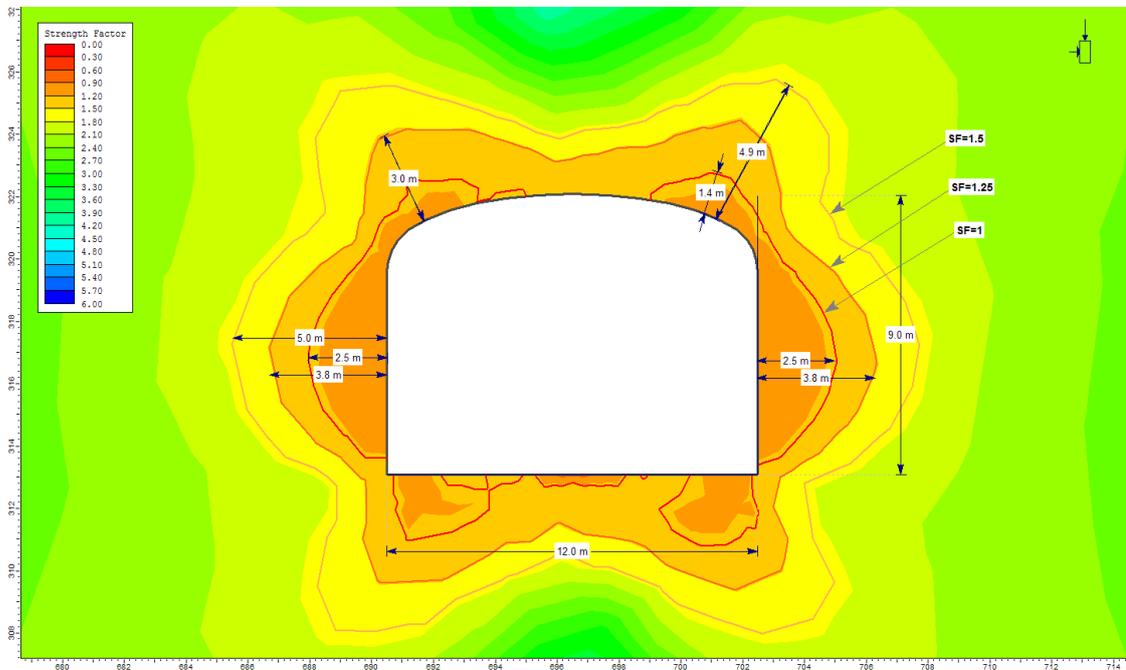
## Anexo 7: Tratamiento estadístico - Estabilización de cuñas en el techo y paredes utilizando shotcrete



Fuente: (Departamento de Proyectos- Yauricocha, 2019)

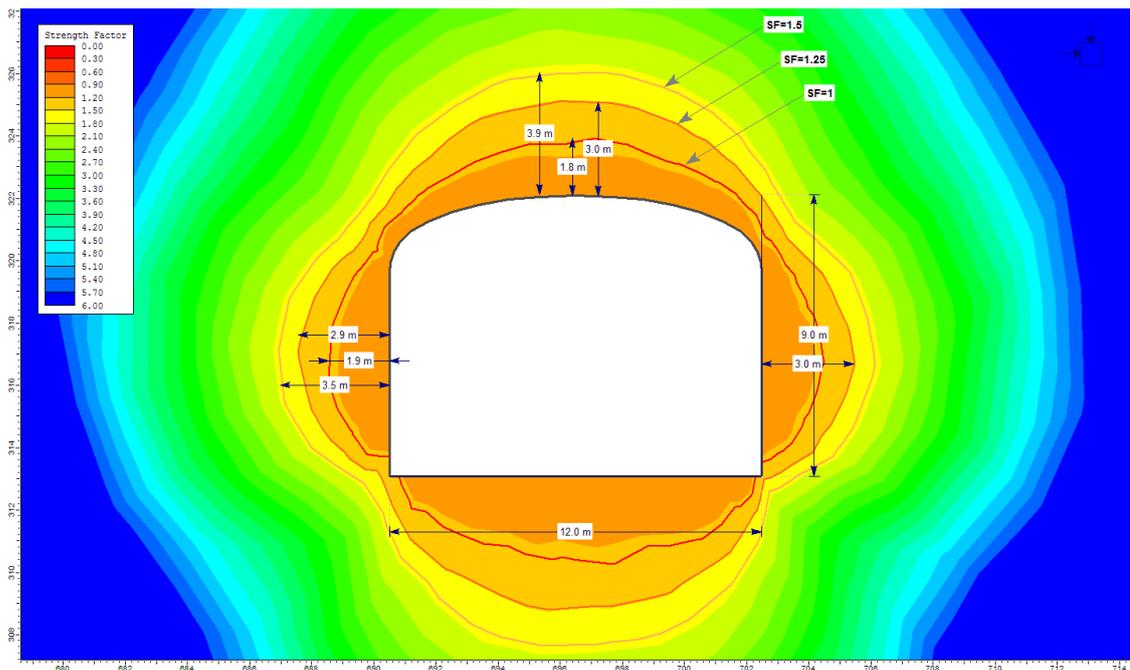
Programa de elementos finitos PHASE2 V.7.013 de Rocscience Inc. (2010) para analizar las condiciones de esfuerzos y deformaciones

**Anexo 8: Tratamiento estadístico - Distribución de factores de resistencia alrededor de la cámara de winche de servicios utilizando un valor de k de 0.51**



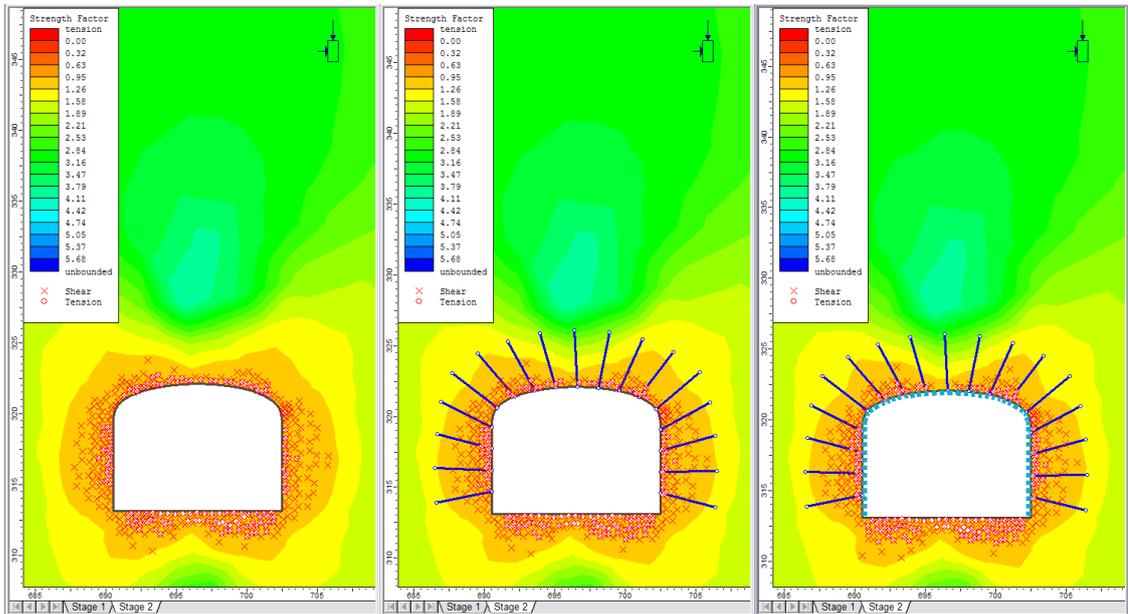
Fuente: (Departamento de Proyectos- Yauricocha, 2019)

**Anexo 9: Tratamiento estadístico - Distribución de factores de resistencia para el valor 1 de constante k.**



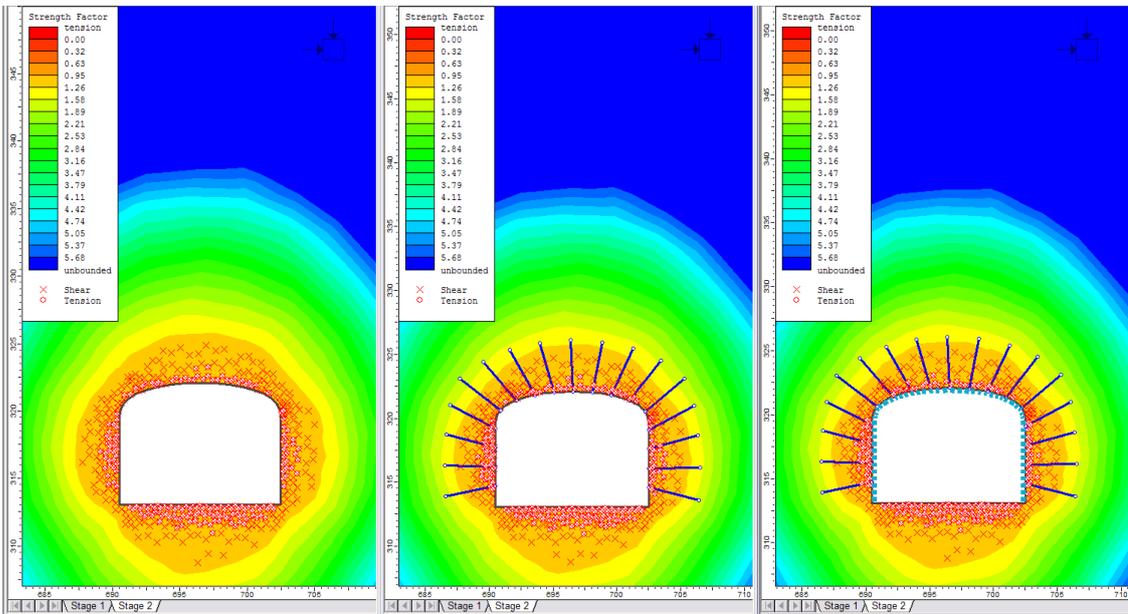
Fuente: (Departamento de Proyectos- Yauricocha, 2019)

**Anexo 10: Tratamiento estadístico - Análisis plástico sin sostenimiento y con sostenimiento para valor de k igual a 0.51**



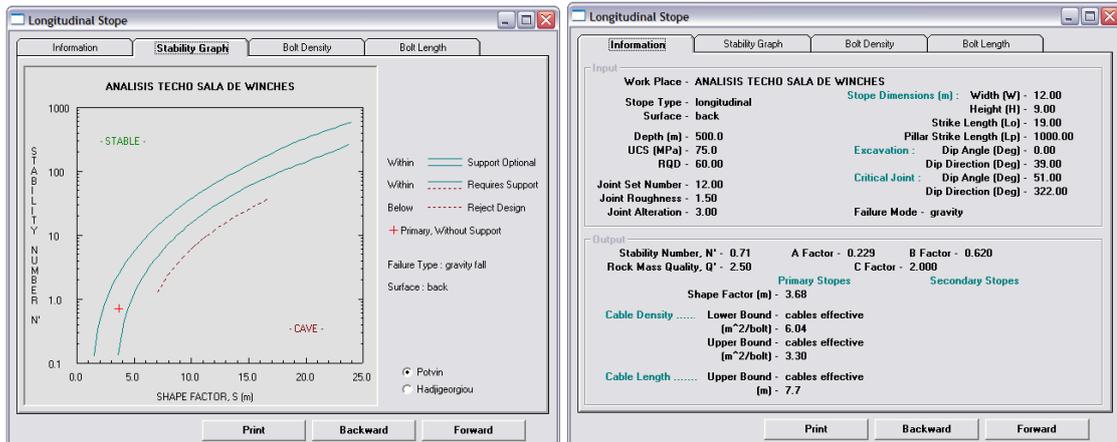
Fuente: (Departamento de Proyectos- Yauricocha, 2019)

**Anexo 11: Tratamiento estadístico - Análisis plástico sin sostenimiento y con sostenimiento para valor de k igual a 1.**



Fuente: (Departamento de Proyectos- Yauricocha, 2019)

## Anexo 12: Tratamiento estadístico - Resultados del análisis por el MGE en el techo.



Fuente: (Departamento de Proyectos- Yauricocha, 2019)

## Anexo 13: Tratamiento estadístico - Resultados del análisis por el MGE en la pared NW (paralelo al eje)



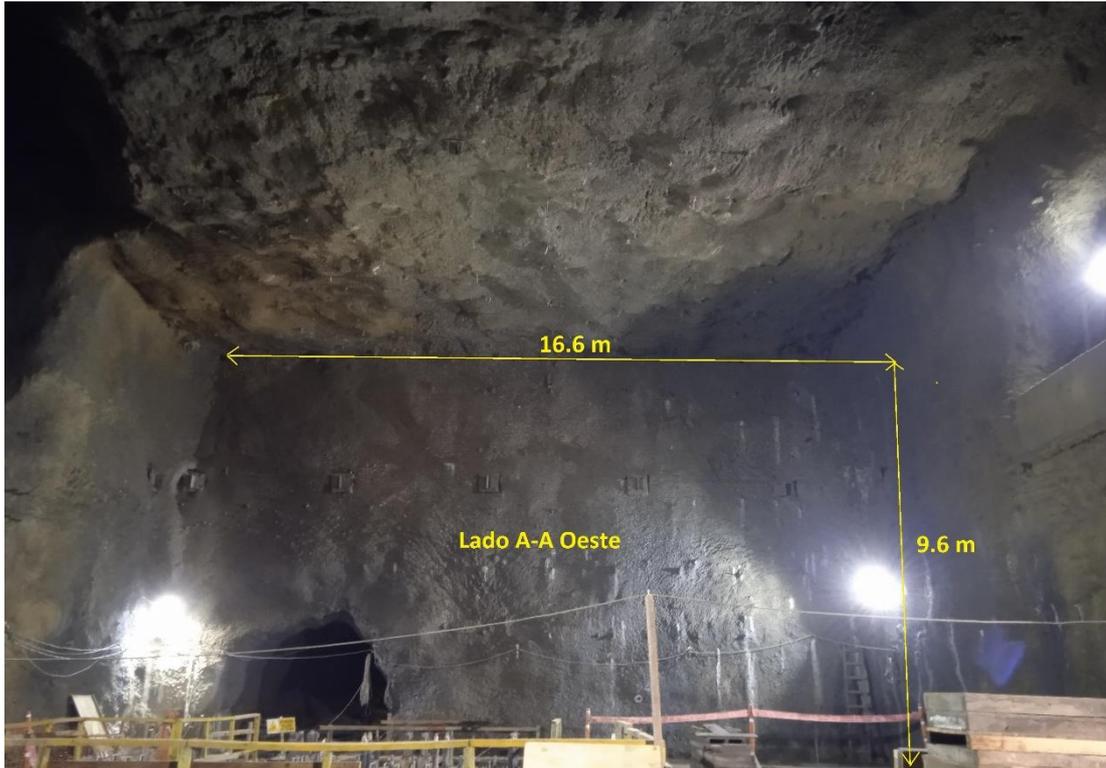
Fuente: (Departamento de Proyectos- Yauricocha, 2019)

## Anexo 14: Tratamiento estadístico - Resultados del análisis por el MGE en la pared NE (perpendicular al eje).



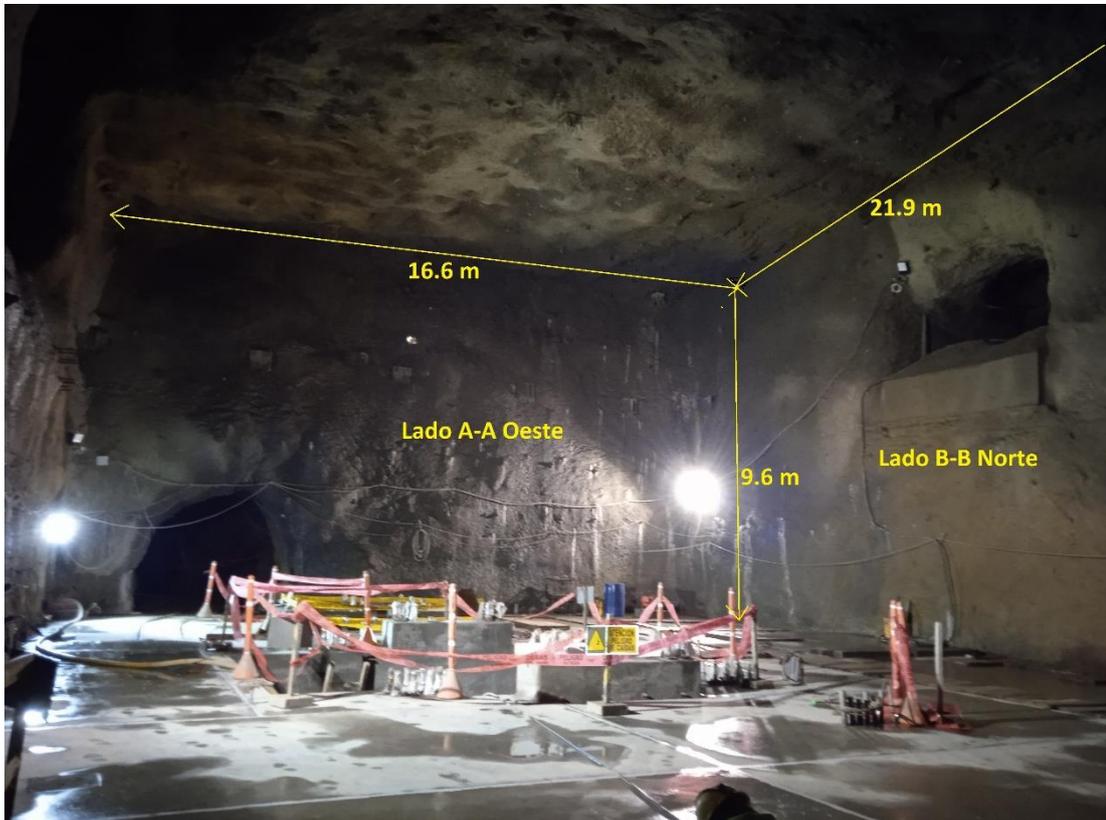
Fuente: (Departamento de Proyectos- Yauricocha, 2019)

### Anexo 15: Dimensiones obtenidas en la Cámara Winche



Fuente: Elaboración propia

### Anexo 16: Dimensiones finales en la Cámara Winche



Fuente: Elaboración propia