



Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Universidad del Perú. Decana de América

Dirección General de Estudios de Posgrado
Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y
Geográfica
Unidad de Posgrado

**Optimización del Sistema de Sostenimiento con Arco
Peruano en el Minado Sub Level Caving de Altos
Esfuerzos en Mina Yauricocha - Sierra Metals**

TESIS

Para optar el Grado Académico de Magíster en Geología con
mención en Geotecnia

AUTOR

Gamaniel CURASMA RAMOS

ASESOR

Dr. Jaime César MAYORGA ROJAS

Lima, Perú

2024



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

Referencia bibliográfica

Curasma, G. (2024). *Optimización del Sistema de Sostenimiento con Arco Peruano en el Minado Sub Level Caving de Altos Esfuerzos en Mina Yauricocha - Sierra Metals*. [Tesis de maestría, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica/Unidad de Posgrado]. Repositorio institucional Cybertesis UNMSM.

Metadatos complementarios

Datos de autor	
Nombres y apellidos	Gamaniel Curasma Ramos
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	41209044
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0003-2858-109X
Datos de asesor	
Nombres y apellidos	Jaime César Mayorga Rojas
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	10369482
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0001-8423-3343
Datos del jurado	
Presidente del jurado	
Nombres y apellidos	Alfonso Alberto Romero Baylón
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	31625834
Miembro del jurado 1	
Nombres y apellidos	Mariano Pacheco Ortíz
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	06284228
Miembro del jurado 2	
Nombres y apellidos	William Gilberto Escudero Simon
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	04051131
Datos de investigación	

Línea de investigación	C.0.6.7. Seguridad Minera y Gestión de Riesgos, control de ingeniería – productividad.
Grupo de investigación	No aplica.
Agencia de financiamiento	Sin financiamiento.
Ubicación geográfica de la investigación	Mina Yauricocha País: Perú Departamento: Lima Provincia: Yauyos Distrito: Alis Anexo: Tinco Latitud: 18L 423051.54 Longitud: E 8639005.73 Altitud: 4645msnm
Año o rango de años en que se realizó la investigación	2020- 2022
URL de disciplinas OCDE	INGENIERÍA GEOLÓGICA https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.07.01



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

SUSTENTACIÓN PÚBLICA

En la Universidad Nacional Mayor de San Marcos - Lima, a los seis días del mes de febrero del año dos mil veinticuatro, siendo las 16.30 horas, se reúnen los suscritos Miembros del Jurado Examinador de Tesis, nombrado mediante Dictamen N° 000063-2024-UPG-VDIP-FIGMMG/UNMSM del 29 de enero del 2024, con la finalidad de evaluar la sustentación oral de la siguiente tesis:

TÍTULO

«OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE SOSTENIMIENTO CON ARCO PERUANO EN EL MINADO SUB LEVEL CAVING DE ALTOS ESFUERZOS EN MINA YAURICOCHA - SIERRA METALS»

Presentado por el Bach. **GAMANIEL CURASMA RAMOS**, para optar el **GRADO ACADÉMICO DE MAGISTER en GEOLOGÍA** con mención en **GEOTECNIA**.

El Secretario del Jurado Examinador de la Tesis, analiza el expediente N° UNMSM-20220000392, de fecha 05 de enero del 2022, en el marco legal y Estatutario de la Ley Universitaria, acreditando que tiene todos los documentos y que cumplió con las etapas del trámite según el «Reglamento General de Estudios de Posgrado», aprobado con Resolución Rectoral N° 04790-R-18 del 08 de agosto del 2018.

Luego de la Sustentación, se procede con la calificación de la Tesis, de acuerdo al procedimiento respectivo y se registra en el acta correspondiente de conformidad al Art. 100 del precitado Reglamento, correspondiéndole al graduando la siguiente calificación:

----- Bueno (16) -----

Habiendo sido aprobada la sustentación de la Tesis, el Presidente recomienda a la Facultad se le otorgue el **GRADO ACADÉMICO DE MAGISTER en GEOLOGÍA** con mención en **GEOTECNIA** al Bach. **GAMANIEL CURASMA RAMOS**.

Siendo las 17:30 horas, se dio por concluido al acto académico.


DR. ALFONSO ALBERTO ROMERO BAYLÓN
Presidente


MG. MARIANO PACHECO ORTÍZ
Secretario


DR. WILLIAM GILBERTO ESCUDERO SIMON
Miembro


DR. JAIME CÉSAR MAYORGA ROJAS
Asesor



CERTIFICADO DE SIMILITUD

Yo Dr. JAIME CÉSAR MAYORGA ROJAS en mi condición de asesor acreditado con el Número de Dictamen N° 000430-2022-UPG-VDIP-FIGMMG/UNMSM de la tesis, cuyo título es «OPTIMIZACION DEL SISTEMA DE SOSTENIMIENTO CON ARCO PERUANO EN EL MINADO SUB LEVEL CAVING DE ALTOS ESFUERZOS EN MINA YAURICOCHA - SIERRA METALS» presentado por el Bachiller CURASMA RAMOS GAMANIEL para optar el grado de Magister en Geología con Mención en Geotecnia CERTIFICO que se ha cumplido con lo establecido en la Directiva de Originalidad y de Similitud de Trabajos Académicos, de investigación y producción Intelectual. Según la revisión, análisis y evaluación mediante el software de similitud textual, el documento evaluado cuenta con el porcentaje de 11% de similitud, nivel **PERMITIDO** para continuar con los trámites correspondientes y para su **publicación en el repositorio institucional**.

Se emite el presente certificado en cumplimiento de lo establecido en las normas vigentes, como uno de los requisitos para la obtención del grado correspondiente.



UNMSM

Firmado digitalmente por MAYORGA
ROJAS Jaime Cesar FAU
20148092282 hard
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 17.08.2023 14:42:35 -05:00

Firma del Asesor:

DNI: 10369482

Nombres y apellidos del asesor:
JAIME CÉSAR MAYORGA ROJAS

Huella Digital



AGRADECIMIENTO

Dedico esta tesis: A Dios, por guiar mis pasos a lo largo de experiencia como profesional. A mi padre y madre por estar siempre a mi lado apoyándome en mis decisiones. A mi esposa e hijos, por el apoyo brindado para la realización de esta investigación. Y a todos aquellos que de alguna u otra manera me brindaron sus palabras de aliento para culminar esta meta.

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTO	I
ÍNDICE GENERAL.....	II
LISTA DE CUADROS	IV
LISTA DE FIGURAS	VI
LISTA DE ANEXOS	XII
RESUMEN	XIII
ABSTRACT	XIV
CAPITULO I: INTRODUCCIÓN	1
1.1. Situación Problemática	1
1.2. Formulación del Problema	3
1.3. Justificación Teórica	3
1.4. Justificación Práctica	4
1.5. Objetivos.....	5
1.5.1. Objetivo General	5
1.5.2. Objetivos Específicos	5
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	6
2.2. Antecedentes de Investigación	7
2.3. Bases Teóricas	10
2.4. Marcos Conceptuales o Glosario	32
CAPITULO III: MARCO GEOLÓGICO.....	34
3.1. Marco Geológico.....	34
3.2. Geología local.....	40
3.3. Geología estructural	41
3.4. Geología económica.....	43
CAPITULO IV: HIPÓTESIS Y VARIABLES	48
4.1. Hipótesis general	48

4.2. Hipótesis específicas	48
4.3. Identificación de variables.....	49
4.3.1 Variable Independiente	49
4.3.2 Variable Dependiente.....	49
CAPITULO V: METODOLOGÍA.....	50
5.1. Tipo y Diseño de Investigación	50
5.2. Unidad de análisis	50
5.3. Población de estudio	50
5.4. Tamaño de muestra.....	51
5.5. Selección de muestra	51
5.6. Técnicas de recolección de Datos	51
5.7. Análisis e interpretación de la información.....	52
CAPITULO VI: RESULTADOS Y DISCUSIÓN	62
6.1. Análisis, interpretación y discusión de resultados.....	62
6.3. Pruebas de Hipótesis.....	133
6.4. Presentación de resultados	137
CAPITULO VII: IMPACTOS.....	139
7.1 Propuestas para la solución del problema	139
7.2 Costos de implementación de la propuesta	140
7.3 Beneficios que aporta a la propuesta	141
CONCLUSIONES	142
RECOMENDACIONES.....	143
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	144
ANEXOS.....	142

LISTA DE CUADROS

Tabla 1. Parámetros para el cálculo del elipsoide.....	20
Tabla 2. Software geomecánico - Métodos numéricos	24
Tabla 3. Rutas para llegar a U.A. Yauricocha	32
Tabla 5. Calidad del macizo rocoso en las unidades geológicas.....	67
Tabla 6. Familia de discontinuidades estructurales.	70
Tabla 7. Condición estructural de las discontinuidades – caja piso.	70
Tabla 8. Condición estructural de las discontinuidades – caja techo.	70
Tabla 9. Clasificación geomecánica de la masa rocosa.	71
Tabla 10. Zonificación geomecánica – Rock Mass Rating (RMR)	72
Tabla 11. Resistencia compresiva (σ_c): ensayo de Martillo Schmidt en Caliza.	72
Tabla 12. Ensayo de resistencia compresiva no confinada (σ_c).	73
Tabla 13. Ensayo de propiedades físicas.	74
Tabla 14. Ensayo de constantes elásticas.....	74
Tabla 15. Constante m_i de la roca intacta - criterio de falla de Hoek & Brown.	76
Tabla 16. Unidades geotécnicas del cuerpo Esperanza.	77
Tabla 17. Parámetros de resistencia de la masa rocosa.	78
Tabla 18. Esfuerzos insitu.....	79
Tabla 19. Condiciones de agua subterránea.	80
Tabla 20. Parámetros de diseño de las labores.....	82
Tabla 21. Factor de seguridad – Estabilidad controlada por estructuras.	84
Tabla 22. Diseño de sostenimiento con cimbras en mineral.....	87
Tabla 23. Diseño de sostenimiento con cimbras en estéril.	87

Tabla 24. Radio hidráulico para el espaciado entre cimbras reforzadas.....	96
Tabla 25. Índice de calidad de roca modificado (Q').	97
Tabla 26. Método gráfico de estabilidad - Potvin y Nickson (1992).	97
Tabla 27. Probabilidad de falla de Mawdesley - 10 metros de espaciado. ..	98
Tabla 28. Características Geomecánicas de Cuerpo Esperanza.....	119
Tabla 29. Reservas Cuerpo Esperanza.	120
Tabla 30. Estándar de deformación de las cimbras, zona Esperanza.	122
Tabla 31. Relación de cimbras monitoreadas.....	123
Tabla 32. Tonelaje, NSR y valor económico de la V 14&15.	137
Tabla 33. Costo de sostenimiento con cimbras de refuerzo en la V14&15 - Nv. 1070 en el Cuerpo Esperanza.	138
Tabla 34. Costo de sostenimiento con Arco Peruano en la V14&15 - Nv. 1070 en el Cuerpo Esperanza.	138
Tabla 35. Ahorro en costo de sostenimiento.....	138
Tabla 36. Costo de sostenimiento con cimbras y cimbras de refuerzo.....	140
Tabla 37. Costo de sostenimiento con Arco Peruano en 10m de minado.	140

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Zonificación geomecánica.....	12
Figura 2. Envolvente de resistencia de roca intacta (Caliza).....	15
Figura 3. Envolvente de resistencia de roca intacta (Intrusivo).....	16
Figura 4. Método de explotación Sub Level Caving (SLC).	18
Figura 5. Vista tridimensional del cono de subsidencia para las condiciones actuales de minado.	19
Figura 6. Diseño de elipsoide por ventana.....	20
Figura 7. Flujo gravitacional en minería de Caving.	21
Figura 8. Metodología de diseño que incorpora esfuerzos, estructuras y macizo rocoso.....	23
Figura 9. Deformación de las cimbras por altos esfuerzos	26
Figura 10. Punto de monitoreo de convergencia y cinta extensométrica.	29
Figura 11. Modelamiento con RS2 – C. Esperanza	31
Figura 12. Simulación de eventos sísmicos MAP3D.....	31
Figura 13. Geología Regional Yauricocha.	36
Figura 14. Columna estratigráfica del área de Yauricocha.	39
Figura 15. Métodos y técnicas para la interpretación de la información.	52
Figura 16. Cono de subsidencia - Nv.870 Piso 0.....	53
Figura 17. Cono de subsidencia - Nv.920 Piso 8.....	54
Figura 18. Cono de subsidencia - Nv.920 Piso 0.....	54
Figura 19. Cono de subsidencia - NV.970 Piso 16.....	55
Figura 20. Cono de subsidencia - Nv.970 Piso 8.....	55
Figura 21. Cono de subsidencia - Nv.970 Piso 0.....	56

Figura 22. Cono de subsidencia - Nv.1020 Piso 16.	56
Figura 23. Cono de subsidencia - Nv. 1020 Piso 8.	57
Figura 24. Cono de subsidencia - Nv.1020 Piso 0.	57
Figura 25. Cono de subsidencia - Nv. 1070 Piso 11.	58
Figura 26. Cono de subsidencia - Nv.1070 Piso 5.	58
Figura 27. Cono de subsidencia - Nv.1070 Piso 0.	59
Figura 28. Cono de subsidencia - Nv. 1120 Piso 11.	60
Figura 29. Pilares estresados en SLC - Nv. 1120 Piso 11.	60
Figura 30. Vista 3D - labores de preparación - Cuerpo Esperanza.	62
Figura 31. Valor del mineral - Vn 14 y 13.	63
Figura 32. Litología del Nv.1070 - Piso 05 - Cuerpo Esperanza.	64
Figura 33. Litología Cuerpo Esperanza Nivel 870 – Nv.1170 Piso 0.	65
Figura 34. Zonificación geomecánica.	67
Figura 35. Proyección estereográfica compósito de dispersión de polos.	68
Figura 36. Proyección estereográfica compósito de contornos.	68
Figura 37. Proyección estereográfica compósito de círculos máximos.	68
Figura 38. Diagrama de roseta de dominios estructurales.	69
Figura 39. Ensayo de resistencia con el martillo Schmith - caliza.	73
Figura 40. RCU (MPa) vs Módulo de elasticidad (GPa) - Caliza.	75
Figura 41. Distribución normal de densidad - Intrusivo.	75
Figura 42. Distribución normal de densidad - Caliza.	76
Figura 43. Vista 3D Nv. 1070 Piso 11 y 05.	82
Figura 44. Estabilidad controlada por estructuras - subniveles.	83

Figura 45. Estabilidad controlada por estructuras - ventanas.....	83
Figura 46. Modelo de análisis bidimensional - diseño del pilar de seguridad.	85
Figura 47. Campo de tensiones – Diseño del pilar de seguridad.....	85
Figura 48. Factor de seguridad – Diseño del pilar de seguridad.....	86
Figura 49. Modelo tridimensional del minado – Mina Yauricocha.....	88
Figura 50. Extracto del minado Sub Level Caving.....	88
Figura 51. Cálculo de distancia mínima para el Cx 5000-N.....	89
Figura 52. Modelo de análisis bidimensional - Secuencia de mina.	90
Figura 53. Factor de seguridad - Secuencia de minado.....	91
Figura 54. Campo de esfuerzos principales – Secuencia de minado.	91
Figura 55. Modelo bidimensional - Minado de ventanas simples.....	93
Figura 56. Factor de seguridad - Minado de ventanas simples sin sostenimiento.....	93
Figura 57. Factor de seguridad – Minado de ventanas simples sin sostenimiento.....	94
Figura 58. Método gráfico de estabilidad.	97
Figura 59. Probabilidad de falla mayor.	98
Figura 60. Factor de seguridad - Minado de ventanas simples reforzadas...	99
Figura 61. Topografía de minado por ventanas dobles - Nv1070 Piso 5.....	99
Figura 62. Topografía de minado por ventanas dobles - Nv 1070 Piso 0. ..	100
Figura 63. Modelo de análisis bidimensional - Escenario 1, Minado en retirada.....	101
Figura 64. Factor de seguridad - Escenario 1, Minado en retirada.....	102

Figura 65. Factor de seguridad - Escenario 1, Minado en retirada.....	102
Figura 66. Modelo de análisis bidimensional - Escenario 2, Minado en retirada.	103
Figura 67. Factor de seguridad - Escenario 2, Minado en retirada.....	104
Figura 68. Factor de seguridad - Escenario 2, Minado en retirada.....	104
Figura 69. Modelo de análisis bidimensional - Escenario 3, Minado en avanzada.	105
Figura 70. Factor de seguridad - Escenario 3, Minado en avanzada.	106
Figura 71. Factor de seguridad - Escenario 3, Minado en avanzada.....	106
Figura 72. Sección transversal del minado en el cuerpo Esperanza.....	107
Figura 73. Explotación del cuerpo Esperanza.....	107
Figura 74. Cono de subsidencia delimitado de trabajo en campo.	108
Figura 75. Cono de subsidencia delimitado de trabajo en campo, vista E-W.	108
Figura 76. Vista en planta del minado del cuerpo Esperanza.	109
Figura 77. Vista isométrica del minado del cuerpo Esperanza.....	110
Figura 78. Modelo de análisis bidimensional - Sección transversal.	110
Figura 79. Factor de seguridad – Sección transversal de minado.....	110
Figura 80. Desplazamiento total – Sección transversal de minado.....	111
Figura 81. Desplazamiento total – Sección transversal de minado.....	112
Figura 82. Vista isométrica del Cuerpo Esperanza y el cono de subsidencia.	113
Figura 83. Cuerpo esperanza e influencia de los esfuerzos en los pilares de 5.5m.....	113
Figura 84. Vista 3D de las labores de desarrollo - Cuerpo Esperanza.	114

Figura 85. Zonificación geomecánica Ventanas Nv.1070 - C. Esperanza. .	115
Figura 86. Block de mineral - C. Esperanza.	116
Figura 87. Plano de las ventanas 13 y 14 del Nv. 1070.	116
Figura 88. La presión vertical del macizo rocoso supera a las cimbras.....	117
Figura 89. Cuerpo Esperanza.	118
Figura 90. Modelo de reservas Cuerpo Esperanza - debajo Nv. 1070.	120
Figura 91. Metodología de trabajo.....	121
Figura 92. Estándar de velocidad de deformación absoluta de las cimbras, zona Esperanza.....	122
Figura 93. Monitoreo de la Ventana 09, Nv.970-Piso.	123
Figura 94. Monitoreo de la Ventana 10, Nv. 970-Piso.	123
Figura 95. Monitoreo de la Ventana 11, Nv. 970 - Piso.....	124
Figura 96. Monitoreo del cruce 4650 SE, Nv.970 - Piso.	124
Figura 97. Enmallado de la estructura a sostener.	126
Figura 98. Excavación de 50cm x 50cm.....	126
Figura 99. Dimensiones para coloca estructura de concreto.....	127
Figura 100. Diseño de mezcla y resistencia.	127
Figura 101. Lanzado de Shotcrete sobre las cimbras y en enmallado.	128
Figura 102. Estructura y enmallado del Arco Peruano.	129
Figura 103. Arco Peruano instalado en tajeo de explotación (ventana).	129
Figura 104. Análisis de tensión y deformación en el software RS2.....	130
Figura 105. Análisis de tensión y deformación en el software RS2.....	130
Figura 106. Monitoreo de convergencia en la V 09.....	132

Figura 107. Monitoreo de convergencia en la V 13.....	132
Figura 108. Vista en planta del minado del Cuerpo Esperanza.....	134
Figura 109. Sección transversal del minado del Cuerpo Esperanza.....	134
Figura 110. Explotación de la cara libre del Cuerpo Esperanza.....	135
Figura 111. Taladros de producción en el minado del Cuerpo Esperanza..	135
Figura 112. Monitoreo de convergencia del Arco Peruano - Nv.1120 Piso 5 Cuerpo Esperanza.....	136
Figura 113. Monitoreo de convergencia de Cimbra 12 - Nv.970 Piso 0 Cuerpo Esperanza.....	136
Figura 114. Nv. 1070 - V 14 & 15 Piso 05 - Cuerpo Esperanza.....	137

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Operacionalización de Variables.	142
Anexo 2. Matriz de consistencia.	143
Anexo 3. Data de monitoreo de convergencia de cimbras y Arco Peruano.	144
Anexo 4. Plano Arco Peruano programado Cuerpo Esperanza Nv.1120 Piso 5.....	148
Anexo 5. Monitoreo de convergencia en Cimbras H6 y Arco Peruano.	149
Anexo 6. Deformación de las cimbras.	150
Anexo 7. Preparación del Arco Peruano enmallado.	151
Anexo 8. Preparación del Arco Peruano enmallado y abertura de drenaje.	152
Anexo 9. Diseño del Arco Peruano	155
Anexo 10. Procedimiento escrito de trabajo seguro – Arco Peruano.....	154
Anexo 11. Estándar de Sostenimiento con Arco Peruano.	155
Anexo 12. Indicación geomecánica para instalar Arco Peruano.....	163

RESUMEN

En la Mina Yauricocha de Sociedad Minera Corona (SMCSA). Se desea implementar y hacer un estudio de sistema de sostenimiento que busca desarrollar un enfoque que pueda aumentar la eficiencia en la extracción del mineral. Con este propósito, se ha establecido un plan de investigación que pretende analizar y examinar detalladamente ¿Cómo influye la aplicación del tipo de fortificación que se está aplicando en método de minado Sub Level Caving (SLC) en mejorar la recuperación del mineral en el Cuerpo Esperanza de altos esfuerzos de SMCSA? Esto nos lleva a plantear como objetivo del trabajo de investigación en determinar cómo influye la aplicación del sostenimiento para altos esfuerzos para el método de minado Sub Level Caving (SLC) para mejorar la recuperación de mineral en Mina Yauricocha de SMCSA. Como respuesta al problema se señala que la aplicación de la fortificación en la zona de altos esfuerzos para minado Sub Level Caving (SLC) influye significativamente en expandir el tiempo de exposición para la recuperación de mineral en la Mina Yauricocha de SMCSA. El enfoque de este estudio se basó en el método de investigación científica, específicamente de tipo aplicado y a nivel descriptivo. La población bajo consideración consistió en el cuerpo Esperanza, mientras que la muestra abarcó desde la superficie hasta por debajo del nivel 870. Se determinó que uno de los problemas relacionados con la geometría del yacimiento es su ángulo de inclinación, lo cual resulta en una mayor acumulación de carga vertical debido a la gravedad en el proceso de hundimiento. Desde el punto de vista económico es muy aceptable, considerando también el incrementar el factor de seguridad para reducir la exposición del personal, para evitar el inconveniente de perder mineral, productos de la deformación prematuro de las cimbras, en esta alternativa la recuperación tiene un puntaje de 4 (bueno), en producción, costos y seguridad 5 (excelente), por lo que podemos decir que la aplicación del sostenimiento con arcos peruanos en minado Sub Level Caving (SLC) mejora la recuperación del mineral en el Cuerpo Esperanza.

PALABRAS CLAVES: Sub Level Caving; minado masivo; recuperación de mineral; proceso de hundimiento; cimbras.

ABSTRACT

At the Yauricocha Mine of Corona Mining Society (SMCSA). It is desired to implement and carry out a study of the support system that seeks to develop an approach that can increase the efficiency in the extraction of the mineral. For this purpose, a research plan has been established that aims to analyze and examine in detail, how does the application of the type of fortification that is being applied in the Sub Level Caving (SLC) mining method influence the improvement of mineral recovery in the Esperanza Body? of high efforts of SMCSA? This leads us to consider as an objective of the research work to determine how the application of support for high efforts influences the Sub Level Caving (SLC) mining method to improve mineral recovery in SMCSA's Yauricocha Mine. In response to the problem, it is pointed out that the application of fortification in the high stress zone for Sub Level Caving (SLC) mining significantly influences expanding the exposure time for mineral recovery in SMCSA's Yauricocha Mine. The focus of this study was based on the scientific research method, specifically of an applied type and at a descriptive level. The population under consideration consisted of the Esperanza body, while the sample ranged from the surface to below level 870. It was determined that one of the problems related to the geometry of the reservoir is its inclination angle, which results in a greater vertical load accumulation due to gravity in the sinking process. From the economic point of view it is very acceptable, also considering increasing the safety factor to reduce personnel exposure, to avoid the inconvenience of losing mineral, products of premature deformation of the forms, in this alternative the recovery has a score of 4 (good), in production, costs and safety 5 (excellent), so we can say that the application of support with Peruvian arches in Sub Level Caving (SLC) mining improves mineral recovery in the Esperanza Body.

KEY WORDS: Sub Level Caving; massive mining; ore recovery; sinking process; metal arches.

CAPITULO I: INTRODUCCIÓN

1.1. Situación Problemática

La mina Yauricocha situada en el distrito Alis, provincia de Yauyos, departamento de Lima, a 12 km al Sur de la Estación Pachacayo del Ferrocarril Central, en el flanco Oeste de la Cordillera Occidental de los Andes y en las nacientes de uno de los afluentes del río Cañete en la Sierra Central. Con una altitud que está entre los 4150 y los 4700 msnm, obteniendo concentrados de zinc, cobre, y plomo, con derivados de plata y oro a partir de su circuito polimetálico. Gracias a la buena ley de los concentrados la operación es continua y con perspectivas de incremento de reserva para la continuidad de las operaciones.

No existen antecedentes exactos en el estudio a investigar para explotación por sub level caving (SLC) en profundidades cada vez mayores en el cual se desarrolla la explotación.

En macizos rocosos de mala calidad geotécnica tanto para el mineral y las cajas con valores de Rock Mass Rating (RMR) menores a 25 en ambos casos, generan altos esfuerzos y deformaciones, que casi de forma inmediata empiezan a deformar extensivamente a las cimbras metálicas de sección 3.5 x 3.5 metros que es el elemento de sostenimiento instalado en las ventanas

de extracción y permiten soportar las deformaciones y extraer al mineral económico en forma segura para el personal y a los equipos de extracción en el tiempo requerido para completar la extracción total del mineral programado de la ventana de extracción. Los esfuerzos inducidos por el minado llegan a deformar de tal manera a las cimbras metálicas que en algunos casos en solo unas semanas después de su instalación ya no es posible el ingreso de los equipos de limpieza de mineral (scooptrams) a las ventanas de extracción lo que implica que se deben instalar cimbras adicionales de refuerzo, pero de menor sección 3.0 x 3.1 metros, esto genera el incremento del costo de sostenimiento y la paralización de la extracción de mineral en el lapso de tiempo de instalación de estas cimbras adicionales. Existe también el riesgo de perder la ventana de extracción de mineral en el caso que ya no sea posible instalar las cimbras de refuerzo adicionales por las excesivas deformaciones que se desarrollan y que podrían originar una pérdida económica importante en el plan de minado de la empresa. En el aspecto de seguridad la instalación de cimbras de refuerzo adicionales es una tarea de riesgo que requiere tomar todas las medidas de prevención que garanticen la seguridad del personal que realizara esta actividad.

El sostenimiento con cimbras metálicas en las ventanas de extracción juega un rol fundamental en el éxito del minado SLC en la mina Yauricocha; y si bien es cierto se han realizado una serie de mejoras en su utilización, la generación de mayores esfuerzos a medida que se incrementa la profundidad de la mina que ya supera los 1,000 metros reduce la performance de estas cimbras metálicas, las cuales se deforman cada vez en menor tiempo y no permiten el ingreso de los equipos de limpieza de mineral y por consiguiente nos obliga a instalar una cantidad cada vez mayor de cimbras de refuerzo. Esta problemática nos obliga a buscar alternativas en elementos de sostenimiento alternativos que garanticen una extracción segura y efectiva del mineral con un costo de sostenimiento óptimo que garantice la rentabilidad económica del minado en mina Yauricocha.

El plan de estudio se realizará partiendo de una etapa conceptual o preliminar, donde se determine las características del elemento de

sostenimiento e identificar los sectores críticos de altos esfuerzos que nos generan pérdidas y en seguida pasar a una etapa de detalle donde se establezca características y soluciones al Cuerpo Esperanza previamente determinado.

1.2. Formulación del Problema

1.2.1. Problema General

¿Es posible optimizar el sistema de sostenimiento con Arco Peruano en el minado Sub Level Caving de altos esfuerzos en Mina Yauricocha – Sierra Metals y poder recuperar en su totalidad el mineral que podría perderse por colapso de las labores?

1.2.2. Problema Especifico

1. ¿Podría analizarse y modelar los esfuerzos in-situ con el uso de los softwares geomecánicos tales como Map3D y rs2 que nos permitirán calcular la estabilidad global y asegurar la fortificación de las excavaciones?
2. ¿Será posible tomar la data de monitoreo de convergencia de campo e interpretar en gabinete, así mismo analizar las muestras en el laboratorio con los ensayos de propiedades físico – mecánico para definir las propiedades físicas y mecánicas del cuerpo mineralizado y del tipo de acero de las cimbras?

1.3. Justificación Teórica

De acuerdo con la información del estudio, las cimbras metálicas son usadas como único elemento de sostenimiento en las ventanas de extracción en el método de minado Sub level caving (SLC) en mina Yauricocha. A inicios

de los años noventa cuando se empezó a desarrollar el método Sub level caving (SLC) en Yauricocha se utilizaron cuadros de madera y posteriormente se cambió a las cimbras metálicas con gran éxito, pero en condiciones de esfuerzos de mucha menor magnitud a las actuales con niveles de profundidad entre 400 y 500 metros. El uso de las cimbras metálicas se usaron principalmente por su aceptable performance en otras minas del Perú que usaban estos elementos de sostenimiento en minados masivos como la mina Rosaura, pero más de una forma práctica sin una base analítica desarrollada, basada más en métodos empíricos de cálculo de sostenimiento como las tablas RMR y Q; estos métodos son subjetivos, debido a que una simple gráfica de cálculo de sostenimiento utilizada principalmente en el desarrollo de túneles, no debe aplicarse en forma definitiva para el cálculo de sostenimiento en una mina donde se deben tomar aspectos relevantes detallados y propios de cada mina como los estados de esfuerzos, densidad de la roca, etc.

En las Ventanas de producción del cuerpo Esperanza hay problemas serios en tema de estabilidad, las cimbras metálicas producto de los esfuerzos y deformaciones se encuentran completamente deformados cerrándose la sección de la labor, producidos por el método de minado Sub level caving (SLC) en mina Yauricocha.

1.4. Justificación Práctica

Ante el incremento de los esfuerzos y deformaciones a mayores profundidades de minado en el método SLC en mina Yauricocha, se observa un deterioro muy rápido de las cimbras metálicas de sección 3.5 x 3.5m instaladas en las ventanas de producción, los cuales se deforman en un tiempo acelerado que es menor a 48 días, y que en casi 7 semanas ya no permiten el ingreso de los equipos de limpieza de mineral (scooptrams) además es de alto riesgo para todo el personal que labora en los tajeos de producción ya que las ventanas tienen en promedio una longitud de 45 metros, las ventanas deberían tener un tiempo de exposición mayor a 2 meses para asegurar la explotación del mineral. Frente a ese problema del cierre de las

labores por culpa de los altos esfuerzos se pierde gran cantidad de tonelaje de mineral que afecta a la rentabilidad de la empresa, por estos motivos se planteó en optimizar el sistema de sostenimiento con la instalación de un arco de concreto de alta resistencia que se ha denominado “Arco Peruano” que es una variante de los arcos de concreto desarrollados en el método NTM (Norwegian Method of Tunnelling – Método Noruego de desarrollo de túneles, Barton et al., 1992).

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo General

Realizar la optimización del sistema de sostenimiento con Arco Peruano en el minado Sub Level Caving de altos esfuerzos en Mina Yauricocha – Sierra Metals y poder recuperar en su totalidad el mineral que podría perderse por el colapso de las labores.

1.5.2. Objetivos Específicos

1. Analizar y modelar los esfuerzos in-situ con el uso de los softwares geomecánicos tales como MAP3D y RS2 que nos permitirán calcular la estabilidad global y asegurar la fortificación de las excavaciones.
2. Tomar la data de monitoreo de convergencia de campo e interpretar en gabinete, así mismo analizar las muestras en el laboratorio con los ensayos de propiedades físico – mecánico para definir las propiedades físicas y mecánicas del cuerpo mineralizado y del tipo de acero de las cimbras.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Marco Filosófico o Epistemólogo de la Investigación

La palabra sostenimiento dentro de la minería, nace desde tiempos inmemoriales ya que al realizar una excavación afecta a la estabilidad del macizo rocoso entonces podemos decir que los seres humanos al realizar esta acción de excavar posterior a ello tenían que “sostener” de alguna u otra forma. Poco a poco se fueron implementando diferentes técnicas y/o elementos de sostenimiento sobre todo para evitar la pérdida de vidas humanas, la palabra sostenimiento está conformado con raíces latinas que significa “acción y efecto de ayudar a alguien o algo para que se mantenga estable por sí mismo”. Se compone de tres raíces: El prefijo sub (de abajo a una superficie más alta), tenere (soportar, retener) y por último el sufijo – miento (instrumento, medio o resultado).

La minería es una actividad que ha estado presente hace miles de años en la existencia de la humanidad por el afán de inventar cosas nuevas y mejores para avanzar con la tecnología mundial y también para el uso

cotidiano en la vida de cada persona. Actualmente la minería es el sustento para la creación de nuevas tecnologías y también para la creación de las tecnologías existentes, está en todo tipo de industrias pues todo objeto tiene como origen inicial debajo del subsuelo, día a día se exploran, investigan, estiman nuevos recursos minerales con gran valor económico para el crecimiento de una nación. Existe la minería subterránea y superficial que también se dividen en artesanal, pequeña, mediana y gran minería inclusive está presente la minería ilegal que en realidad debería ser borrado por completo.

Para lograr con éxito extraer el mineral, las personas encargadas de la explotación tienen que asegurarse de que las excavaciones realizadas son estables para la continuidad de la mina entonces se aplican diferentes elementos de sostenimiento, para macizos rocosos débiles es necesario utilizar cimbras que son arcos metálicos que tienen gran capacidad de soporte, también está existente macizos menos débiles el concreto lanzado “shotcrete” el cual nos brinda el soporte necesario para continuar con la extracción del metal valioso.

2.2. Antecedentes de Investigación

Como antecedentes, se cita los siguientes:

Antecedentes Nacionales

- Quiroz Girón (2020). La tesis “Aplicación de minado por Sublevel Caving en mina al sur del Perú”. El estudio se realizó en una mina sureña del Perú, el objetivo principal del tesista es incrementar la recuperación y dar estrategias para el control de la dilución en los tajeos inferiores del cuerpo mineralizado. Por ende, el procedimiento que más se ajusta para la extracción de minerales es el de Sublevel Caving transversal, puesto que la estructura mineralizada y el macizo rocoso cumple con los requisitos de aplicación y es mucho más económico su aplicabilidad, el investigador llegó al resultado de que es posible la recuperación del

80% del mineral y con 20% de dilución. Se alcanzó una forma de rescatar el mineral de manera replicable y eficiente.

- Olivares Ramos (2009). El informe técnico “Minado del cuerpo Tinyag por el método del Sublevel Caving: Empresa minera los Quenuales - Unidad Minera Iscaycruz”; el autor tiene el objetivo de explotar este yacimiento por el minado subterráneo “Sub level Caving Transversal” la investigación expone que según los datos recolectados y la indagación del cuerpo mineral, la masa rocosa y la geología de la zona de interés, estas particularidades se adaptan para atribuir el método mencionado para la explotación. La ejecución de pruebas a pequeña escala se realizó con ayuda de una maqueta del SLC aplicado al yacimiento, presenta un gran reto pues la mala calidad del macizo rocoso dificulta la estabilidad y la explotación.
- Ynocente Castillejo (2007). La tesis “Implementación de la variante del método de hundimiento (Raise Caving)”. El propósito del tesista es que aporta a otros investigadores con su metodología, entender los métodos de explotación alternativo para minimizar los costos e incrementar la eficacia del minado. Introducir el uso de la maquinaria trepadora como apoyo para la perforadora Long Hole para optimizar el proceso de perforación, es de gran beneficio para las minas el proyecto piloto pues impulsa a desarrollar nuevos métodos de minado.
- Solano Contreras (2008). La tesis de grado “Aplicación de los principios del flujo gravitacional al diseño geométrico del Sub level Caving”, el investigador trata de demostrar que la recuperación de mineral es un parámetro que se puede controlar y depende de otros factores, como el método de explotación, la fragmentación e incluso la dimensión del ancho de extracción, si se analiza todos los

parámetros el control será posible, se determina la eficiencia de la operación con mejores ratios de productividad.

Antecedentes Internacionales

- Rovegno et al. (2015). El informe realizado por un equipo del curso de Tecnología Minera trata de resolver y estudiar el dimensionamiento de las principales actividades unitarias de la mina de hierro Kiruna cuya producción anual es de 27 millones de toneladas, el objetivo de estudiar esto es buscar alternativas para incrementar la recuperación del mineral y reducir los costos de las operaciones unitarias. El incremento de la producción es viable siempre en cuando se toman todos los controles necesarios evitando los desvíos.
- Lewis (2022). Lewis plantea en su investigación “Opening sublevel cave slot drifts at Diavik Diamond Mine”, el documento examina los diversos métodos utilizados y su idoneidad para diferentes situaciones con el fin de cumplir con la meta de minar los dos cuerpos más importantes de la mina Diavik para incrementar la producción y evitar la pérdida de los cuerpos, así como también depende de la calidad del terreno. Hay varios métodos disponibles dependiendo de la ubicación y condiciones para maximizar la recuperación.
- Jakubec Jaroslav et al. (2018). La investigación “Underground mining at Ekati and Diavik diamond mines”, el objetivo de este estudio es registrar la experiencia con los minerales kimberlita (diamante) para su explotación en las minas de Diavik y Ekati a una profundidad aproximadamente de 1200m. Se determina que la minería es aplicable con variantes de métodos de minado bajo

condiciones diferentes y el paso de cielo abierto a subterránea es factible si se trata de extraer el potencial minero a menor costo por panel caving.

- Quinteiro (2018). La investigación “Design of a new layout for sublevel caving at depth”, lo principal de este estudio es investigar la minería bajo el nivel principal actual en la mina Kirinavaara y la mina Malmberget para diseñar un método novedoso por Sublevel Caving y se espera que la producción incremente al minar bancos de 30 a 50m de altura, la empresa LKBA considera que el método tiene alto grado de factibilidad por lo que están a la espera de la aprobación.
- Catalan & Suarez (2010). “Geotechnical characterisation – Cadia East panel caving project Souht Wales, Australia” el presente artículo tiene como objetivo dar a conocer el proceso geotécnico que se ha implementado en Cadia East, que gracias a los datos reunidos se logra mejorar la evaluación del macizo rocoso lo cual permite mejor toma de decisiones y garantizar que el factor de seguridad esté por encima de 1 todo esto para reducir la incertidumbre de estabilidad a los 1200m de profundidad. El proyecto permite la generación de modelos confiables para mejorar la interpretación de cómo se comporta la masa rocosa al momento de aplicar la estrategia de minado expuesto en su investigación.

2.3. Bases Teóricas

2.2.1. Diseño de sostenimiento

En la minería todo geomecánico deberá tener un diseño de sostenimiento en base a las evaluaciones geomecánicas dadas con anterioridad como por ejemplo el Geological Strength Index (G.S.I), este diseño tiene por finalidad soportar las altas presiones y esfuerzos

de la masa rocosa que permite controlar y mantener estable al macizo rocoso. Para todo diseño se tiene en consideración lo siguiente:

- La dirección de la excavación y la orientación de las discontinuidades.
- La influencia de esfuerzos inducidos y naturales en la labor.
- Las propiedades y características físicas del macizo rocoso.
- La deformación que presenta la excavación luego de ser volado.
- La dimensión de la labor y la calidad de roca.

En base al comportamiento de la roca es que se decide por el diseño de sostenimiento, el sostenimiento podrá ser de manera activa o pasiva.

➤ **Sostenimiento activo**

Actúa inmediatamente en la roca luego de ser instalado con éxito, forma una zona de compresión y que la excavación sea estable, tenemos: Pernos, cables tensados).

➤ **Sostenimiento pasivo**

Actúa cuando la roca se acomoda al tipo de sostenimiento ejecutado, es decir, requieren que la roca se deforme y se acomode al sostenimiento adaptado para recién estabilizar la labor, tenemos: Cimbras, cuadros de madera, shotcrete o concreto lanzado).

2.2.2. Evaluación geomecánica

Es aquella evaluación que se le hace al macizo rocoso para determinar sus características, su calidad, resistencia para que finalmente se desarrolle un determinado tipo de sostenimiento para

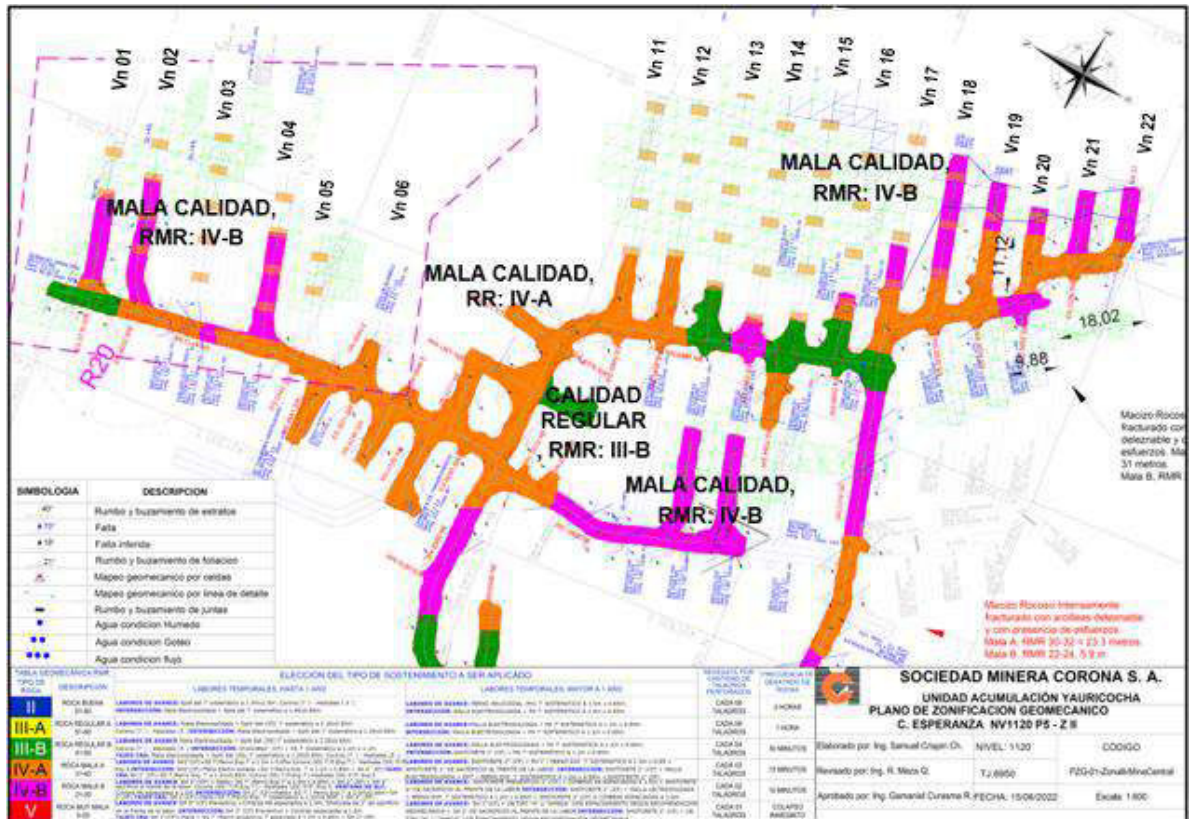
soportar los esfuerzos de la roca, el tipo de sostenimiento va a depender de la calidad de la masa rocosa.

Aparicio (2017). En la geomecánica se pueden realizar estudios de locales que son de una zona pequeña de interés y menor profundidad que es diferente a los estudios geomecánicos que abarcan áreas determinadas de la mina, en los cuales se necesita el diagnóstico actualizado de las excavaciones subterráneas con el propósito de recomendar un método de sostenimiento que debe ejecutarse para su estabilización. El propósito de las evaluaciones geomecánicas es validar el diseño local geomecánico de los alrededores y que se debe actualizar cada que sea necesario. Los estudios geomecánicos a detalle no pueden ser reemplazados por una evaluación rápida y sencilla, más bien es importante para cumplir con los diseños establecidos a partir de dicha evaluación del macizo rocoso.

2.2.3. Zonificación de la roca

Es el proceso de delimitar las zonas en las que las condiciones geomecánicas son similares, esto se delimita y se pinta del color que caracteriza al tipo de roca que se tiene presente en dicha labor. Todo esto es representado por un plano de zonificación geomecánica.

Figura 1. Zonificación geomecánica



Fuente. SMCSA

2.2.4. Caracterización de la masa rocosa

Catalán (2022). Al macizo rocoso se caracterizará de la siguiente manera, para la caracterizar el macizo rocoso se utiliza el criterio de falla Generalizado de (Hoek, 1988); para la envolvente de resistencia del macizo rocoso se han utilizado los parámetros: resistencia a compresión uniaxial (UCS) de la roca intacta y el parámetro "mi" se estiman con el ensayo de compresión, el GSI del macizo rocoso y el factor de perturbación "D" que es el output de una voladura nos ayuda a conseguir el grado de perturbación, este factor se mide mediante observaciones en campo, considerando que el entorno rocoso no ha sido turbado "D" igual a cero (0).

El valor GSI describe la calidad del macizo rocoso y se obtiene del modelo tridimensional del macizo rocoso RMR. Dado que los resultados del registro cartográfico indican condiciones de humedad,

se utiliza la fórmula de corrección Hoek E. and Brown (1997) descrita a continuación para estimar el GSI a partir del RMR.

$$GSI = RMR'89 - 5$$

Esta corrección se realiza debido a que el RMR calculado para las perforaciones utiliza el criterio de Bieniawski (1989) cuya valoración de la presencia de agua para condiciones secas es de 15 y el GSI debe estimarse a partir del RMR Bieniawski Z. (1976) cuya ponderación del agua para condiciones secas tiene una puntuación máxima de 10.

A continuación, se detallan las ecuaciones que describen el criterio de falla generalizado de Hoek E. (2002).

$$\sigma'_1 = \sigma'_3 + \sigma_{ci} \left(m_b \frac{\sigma_3}{\sigma_{ci}} + s \right)^a$$

Donde:

- σ'_1 y σ'_3 son los esfuerzos principales efectivos mayor y menor.
- " σ_{ci} " es la resistencia compresiva uniaxial de la roca intacta.
- " m_b " es el valor reducido de la constante de roca m_i .

y es dado por:

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

"s" y "a" son constantes para el macizo rocoso dado por las siguientes relaciones:

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

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

Para estimar el módulo de elasticidad (E) se utilizan las ecuaciones propuestas por Diederichs (2006), en las que se utiliza el factor "MR" (Modulus Ratio propuesto por Deere) para estimar la E de la roca intacta para posteriormente escalar al macizo rocoso según las siguientes ecuaciones:

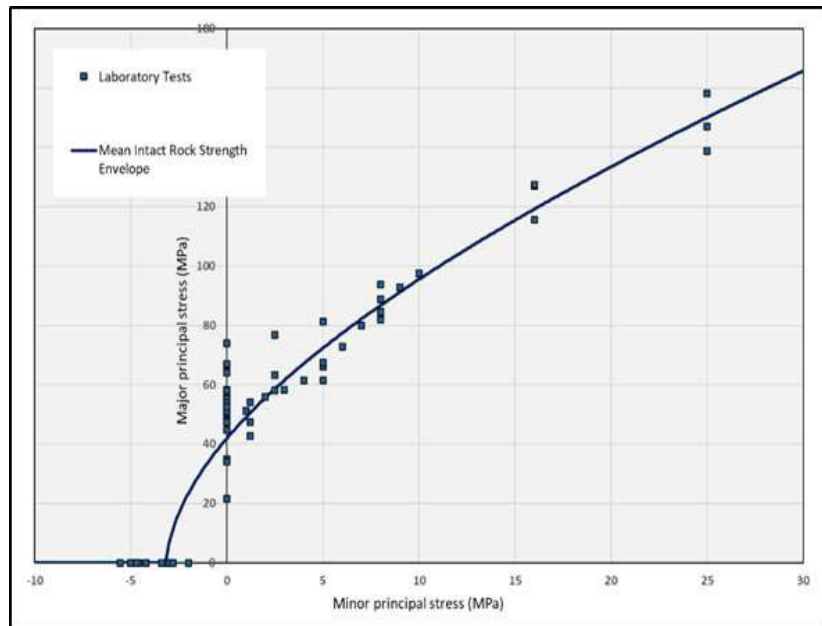
$$E_i = M \times R \times \sigma_i$$

$$E_{rm} = E_i \left(0.02 + \frac{1 - D/2}{1 + e^{-\frac{60+15D-GSI}{11}}} \right)$$

El parámetro "MR" se calcula utilizando la tabla empírica propuesta por Deere, definiendo rangos de valores según el tipo de roca. La relación de Poisson (PR) forma parte de las constantes elásticas que miden la relación entre la deformación lateral y la axial y considera un valor entre 0,2 y 0,3.

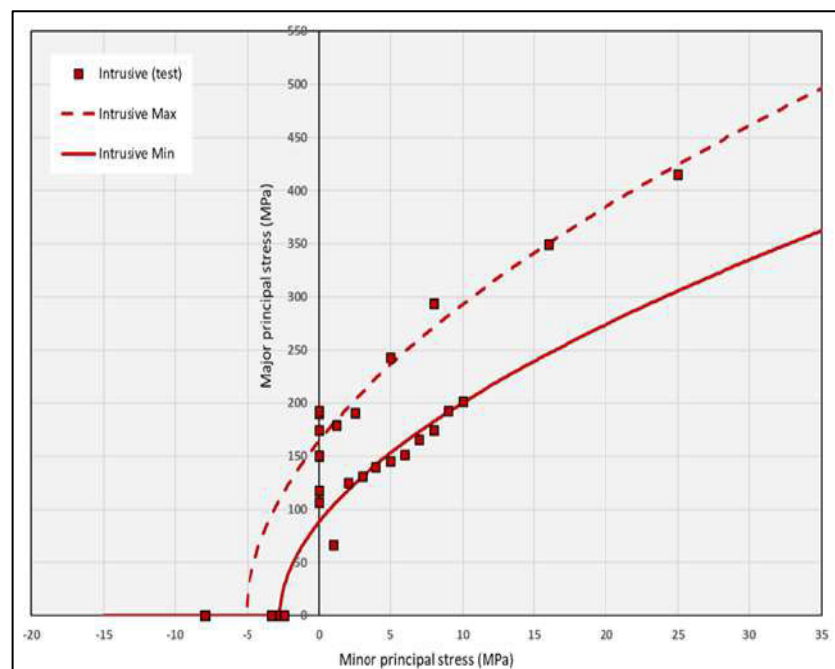
Para definir las envolventes de roca intacta se emplea el criterio de falla de Hoek-Brown como se distingue en las figuras, cabe resaltar que, por tratarse del análisis de roca intacta, el GSI considerado es de 100 para el ajuste de la envolvente de roca intacta.

Figura 2. Envolvente de resistencia de roca intacta (Caliza).



Fuente. REDCO

Figura 3. Envoltura de resistencia de roca intacta (Intrusivo)



Fuente. REDCO

Todo esto con el objetivo de conocer todas las propiedades, parámetros y características del macizo rocoso

2.2.5. Hidrogeología

La hidrogeología es la ciencia que se centra en estudiar la formación del agua y su origen, además de cómo es su movimiento, recorridos, características físicas, químicas y biológicas. Dentro de la minería se estudia con respecto al tipo de yacimiento, su difusión dentro de las discontinuidades del macizo rocoso y también del suelo para evitar que el agua subterránea sea perjudicial para las excavaciones de la mina en lugar de eso sería el de buscar la manera de aprovechar ese recurso si fuera el caso. Román (2017) algunos términos dentro de la Hidrogeología son:

Acuífero

Formación geológica que contiene agua en cantidad apreciable y que permite que circule a través de ella con facilidad.

Acuicludo

Formación porosa e impermeable, que contiene agua, pero no la transmite.

Acuitardo

Al igual que los otros es una formación geológica, pero esta es semipermeable y transmite el agua muy lentamente.

Acuífugo

No contiene agua porque no permite que circulen por ella.

Diferencia entre arco noruego y arco peruano

Termino de aclaración de arco peruano y arco noruego.

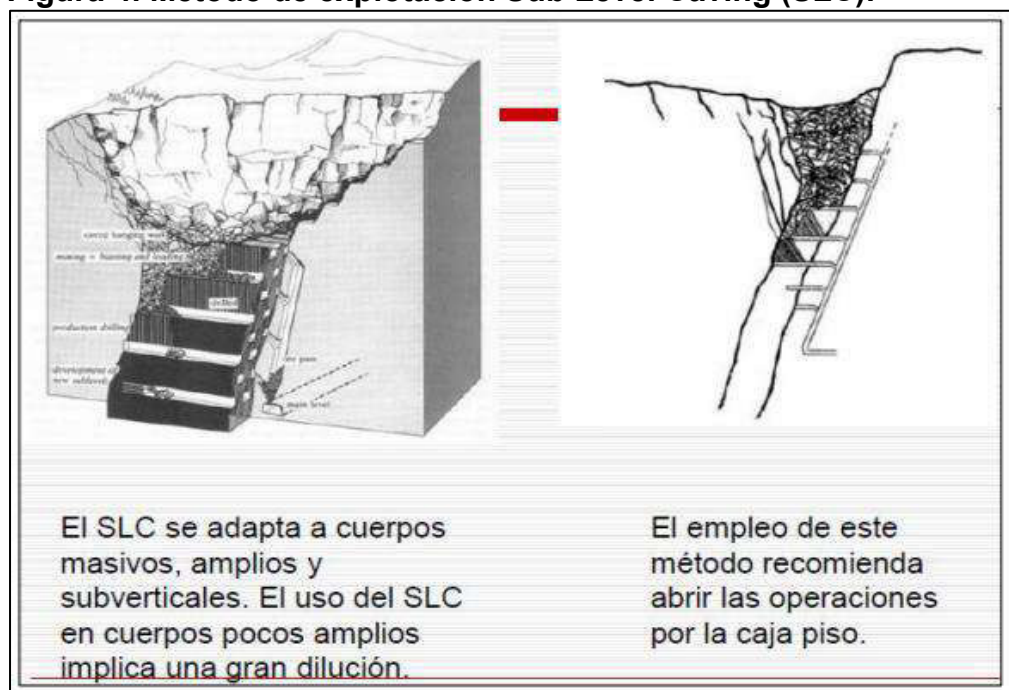
Comparativo entre el Arco Noruego y Arco Peruano		
	Arco Noruego	Arco Peruano
1.-	En arco Noruego está diseñado para labores de esfuerzos controlados y el uso es para labores temporales < 24Mpa.	Este tipo de sostenimiento es un tipo de sostenimiento para labores de altos esfuerzos de 32 a 40Mpa y para labores permanentes
2.-	Se instala los dados de distribución para amarre y anclados con pernos distribuidos a 1.50m - 1.30m en el erimetro de la excavación.	El arco Peruano, se instala la estructura metálica sobre las 03 Cimbras con fierros de 5/8" y en los pies de las imbras se deja un espacio con una altura mínima de 1m para disipar esfuerzos.
3.-	Este elemento de sostenimiento es empleado accesos de labores temporales y tramos con riesgos colapso.	Este tipo de sostenimiento está orientado para accesos de labores de altos esfuerzos para minado por Sub level caving y/o labores panel caving.

Fuente. Sociedad minera Corona

2.2.6. Sub level caving (SLC)

Carhuamaca Merge (2018). El método Sub Level Caving (hundimiento por subniveles) consiste en aprovechar el flujo gravitacional de la roca deleznable al ser perturbada por explosivos, se realizan subniveles y con la ejecución de taladros largos se logra que el material descienda por gravedad al retirar el sostenimiento aplicado, en la minería peruana mayormente el sostenimiento que se utiliza son las cimbras (arcos metálicos), finalmente los espacios vacíos se auto rellenan con material de la caja techo y una de las desventajas es la formación de la subsidencia que se puede llegar a apreciar en la superficie en dirección a la zona explotada.

Figura 4. Método de explotación Sub Level Caving (SLC).



Fuente. Carhuamaca Merge.

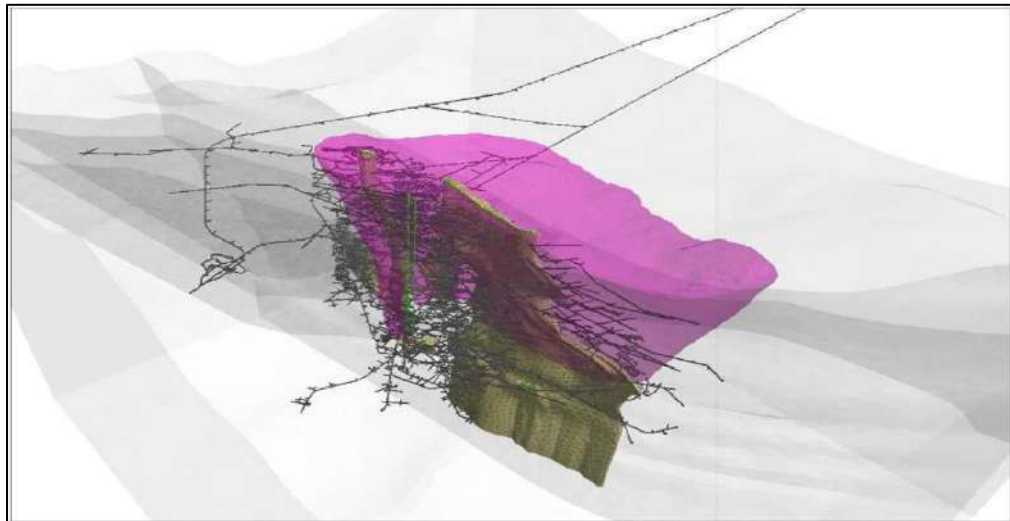
Dicho método cuando recién se estaba implementando en la minería global tenía un alto índice de dilución y la recuperación era baja pero era el único aplicable a macizos rocosos débiles, con el avance tecnológico y las nuevas alternativas para optimizar el método SLC, este método ha sido puesto en marcha en proyectos cuya roca es más

competente y que inclusive requieren de perforación y voladura, lleva consigo el mismo nombre y que con ayuda de estos nuevos avances se pueda explotar el mineral tomando como ventaja al flujo gravitacional.

2.2.7. Cono de subsidencia

Es aquel fenómeno tal como dice el nombre que forma un cono provocado por la misma explotación del Sub level caving dentro de la minería, mientras más se profundizando el cono se hace más grande y la superficie se ve más afectada generando un cráter dependiendo al avance y a la explotación masiva.

Figura 5. Vista tridimensional del cono de subsidencia para las condiciones actuales de minado.

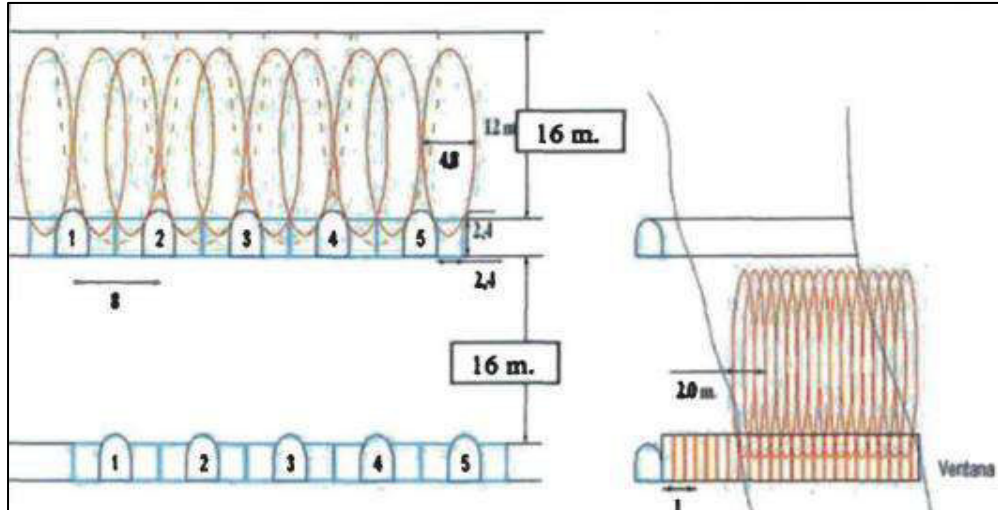


Fuente. DRC Ingenieros.

2.2.8. Elipsoide del caving

En el método de minado sublevel caving se diseña el elipsoide en base a la calidad de la roca, se toma en cuenta parámetros como ancho y altura del elipsoide. Esta se genera desde la parte inferior de la labor, parte desde ambos hastiales para formar un elipsoide que genera el ancho máximo por el cual el mineral va a caer por gravedad.

Figura 6. Diseño de elipsoide por ventana.



Fuente. U.A. Yauricocha SMCSA.

Tabla 1. Parámetros para el cálculo del elipsoide.

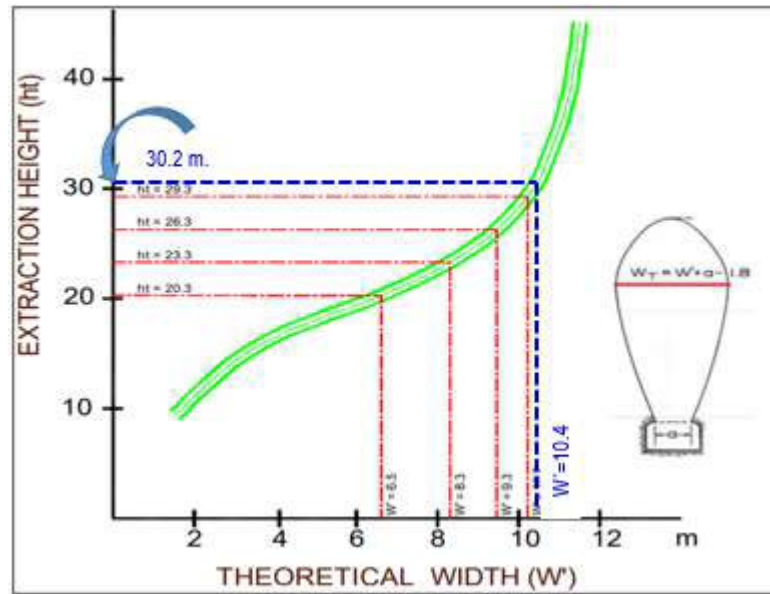
PARÁMETROS		
Descripción	Unidad	Parámetros
Altura máxima del elipsoide	m	Ht
Espaciamiento entre galerías (eje a eje)	m	SD
Altura del subnivel	m	HS
Ancho de punto de extracción	m	WD
Altura de punto de extracción	m	HD
Ancho total del elipsoide de extracción	m	WT
Ancho W' en función a la altura total del elipsoide de extracción Ht.	m	W'
Ancho efectivo de extracción	m	a

Fuente. Elaboración propia.

2.2.9. Flujo gravitacional en SLC

Castro Ruíz (2006). Es la característica más importante del Sub Level Caving, el material se mueve de su posición natural para ser desplazado por gravedad hacia la excavación realizada (subnivel) es decir, hacia el punto de extracción.

Figura 7. Flujo gravitacional en minería de Caving.



Fuente. Patricio Vergara, De “Fundamento Geomecánico: Sublevel Caving”, por Roberto Meza y G. Curasma 2018 – 2021.

2.2.10. Diseño geomecánico de excavaciones

Aparicio (2017). Una característica de suma importancia de las excavaciones en la minería es si serán con entrada de los colaboradores o no. El propósito fundamental de diseñar una excavación subterránea es que estas minimicen los niveles de riesgo con respecto a la caída de rocas. Actualmente hay diferentes métodos para el diseño de las excavaciones y que estas para mejorar la seguridad de los trabajadores van de la mano con un refuerzo o sostenimiento, en la geomecánica estos métodos se clasifican de la siguiente manera:

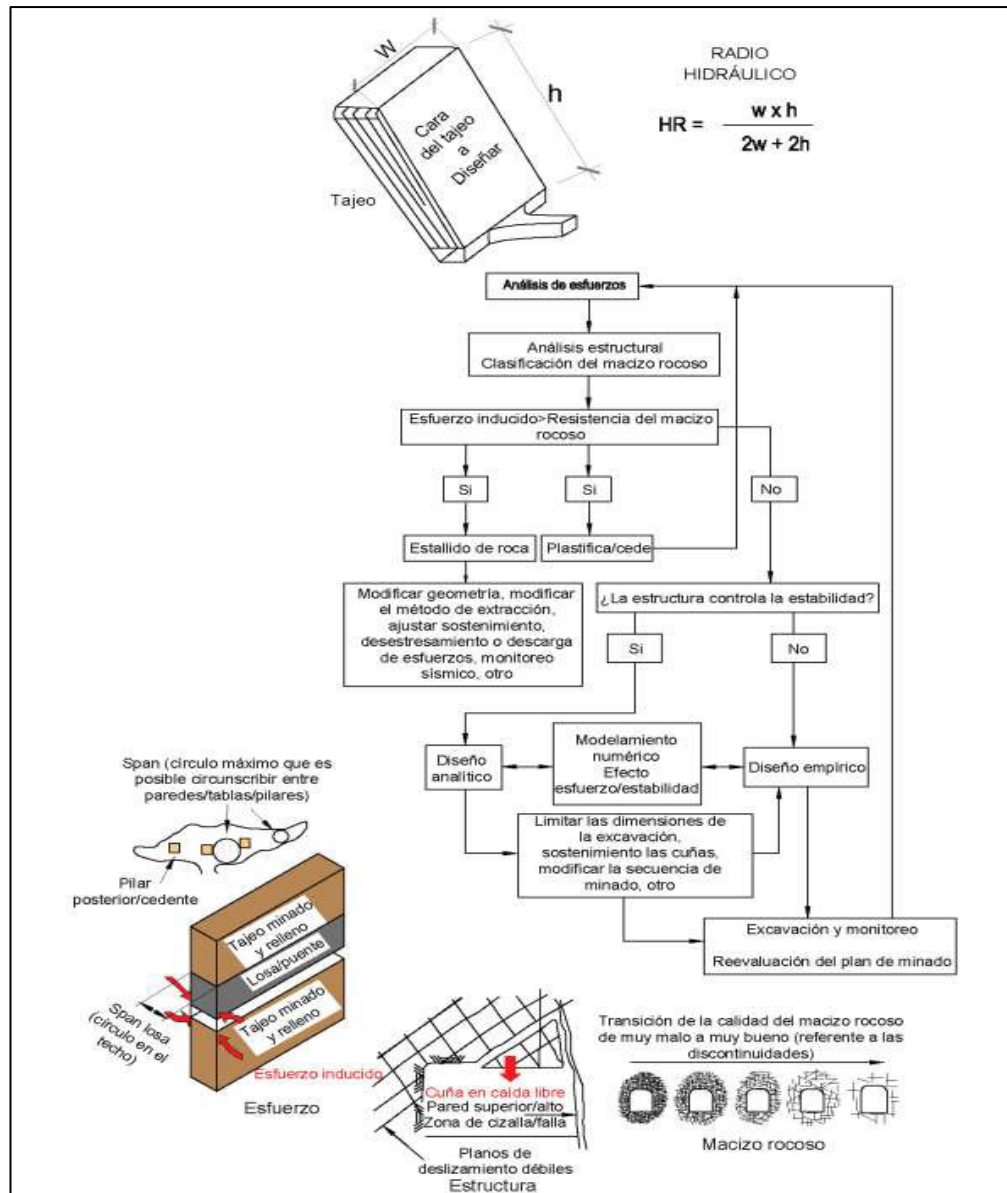
- Dada la gran experiencia, prácticas y la evaluación de diferentes excavaciones se dan los métodos empíricos, dan una predicción futura y recomendar un diseño adecuado.
- Con la aplicación de la matemática, física clásica y sobretodo con el enfoque de la resistencia de materiales nacen los métodos numéricos.

- Finalmente, que con seguimientos más precisos como los monitoreos del macizo rocoso para obtener su comportamiento con respecto al tiempo está los métodos observacionales que es más aplicado en obras civiles subterráneas.

Método empírico

Pakalnis (2014). Es indiscutible que los métodos empíricos son de gran referencia para un diseño geomecánico óptimo y que estas deben estar adaptadas a las condiciones de la zona de interés de cada proyecto minero. No obstante, los investigadores de la materia recomiendan que los diseños finales deben estar corroborado por métodos más precisos los cuáles son los analíticos y los numéricos. Dado la capacidad de predicción los métodos empíricos han sido aceptados inclusive en los últimos años en que los avances de la tecnología son superiores, pero los métodos empíricos tienen deficiencia para identificar el comportamiento preciso de un macizo rocoso.

Figura 8. Metodología de diseño que incorpora esfuerzos, estructuras y macizo rocoso.



Fuente. Osinergmin.

Métodos numéricos

Con el avance de la tecnología es más factible y óptimo realizar diseños con el uso de métodos numéricos y para agilizar el proceso se da uso de los software geomecánicos, actualmente todas las compañías mineras cuentan con softwares para realizar las evaluaciones de la masa rocosa, con ello se tiene mayor eficiencia y se realizan diseños más seguros y estables que van acompañados de un sostenimiento determinado, ayuda en la secuencia de minado, el

dimensionamiento de todas las infraestructuras subterráneas. A continuación, se presenta una tabla resumida acerca de los métodos numéricos implementados y los softwares utilizados para generar modelamientos.

Tabla 2. Software geomecánico - Métodos numéricos

MÉTODOS		SOFTWARE	RECOMENDACIONES
Métodos continuos	Elementos finitos (FEM)	RS2 y 3, ABAQUS, ANSYS	Para terrenos complejos no homogéneos y no lineales, utilizado en la mayoría de las minas.
	Diferencias finitas (FDM)	FLAC, FLAC 3D	Se debe dar mayor énfasis en la zona de interés (zona crítica) y se debe agregar una malla más fina para un cálculo con mayor precisión.
	Elementos de borde (BEM)	MAP3D	Se recomienda por su facilidad de modelar el proceso de cambio de la roca por deformación y esfuerzos, para materiales cuyo comportamiento es lineal y homogéneo. Para el cálculo de esfuerzos principales y secundarios.
Métodos Discontinuos	Elementos discretos	UDEC, 3DEC, PFC, PFC3D	Es recomendable para el análisis de la inestabilidad ejercida por estructuras, análisis de discontinuidades, caving, etc. Utilizado en minería superficial en taludes, deslizamientos y modos de falla y la deformación presente en los materiales estudiados, además de gran ayuda en el

			análisis térmico de suelo, rocas y estructuras.
	Redes de fracturas discretas (DFN)	FracMan, DFN.	Cada vez es más usado y aceptado por la minería debido a que puede ser incluido en los otros métodos ya mencionados, además es recomendable para el análisis de fracturas presentes en un macizo rocoso tanto para geomecánica y voladura.

Fuente. Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería.

2.2.11. Pilares en explotación minera

Es muy importante dentro de los métodos de explotación subterránea y más aún en el método de explotación por Sub Level Caving (SLC), debido a que los pilares son de mucha ayuda para soportar la carga del macizo rocoso y esta se encuentra entre dos excavaciones, el ancho del pilar va a depender mucho de la calidad de la roca presente en la mina. Mayormente habrá pilares cuando la estructura mineralizada es en cuerpos o mantos con buzamiento echado.

2.2.12. Condiciones de esfuerzos en excavaciones subterráneas

En aplicación del Sub Level Caving, el tema de esfuerzos es bastante influyente al momento de la extracción del mineral, al hundir el mineral se da origen a una gran concentración de esfuerzos

inducidos que producen la inestabilidad local de pequeñas zonas e incluso podrían generar la inestabilidad total de la infraestructura minera. Es por eso que se debe delimitar en un modelo geomecánico las zonas que presentan mayor concentración de esfuerzos ya sea esfuerzos insitu o esfuerzos inducidos. Este factor de esfuerzo debe ser analizado con detenimiento para asegurar la vida de la mina y así mismo, que las excavaciones duren el tiempo suficiente hasta terminar de extraer el mineral deseado.

2.2.13. Deformación en el sostenimiento

Se le conoce como deformación en el sostenimiento a aquel fenómeno producido por los esfuerzos inducidos sobre el sostenimiento de la labor subterránea excavada.

Figura 9. Deformación de las cimbras por altos esfuerzos



Fuente. U.A. Yauricocha

2.2.14. Estructura mineralizada

Es aquella porción que está en la superficie o en la mayoría de los casos debajo de la superficie terrestre que puede o no ser económico, también conocido como depósito mineral. Cuando el mineral es económico se le conoce como mena y cuando no tiene valor económico se le conoce como ganga, las estructuras mineralizadas más conocidas son: vetas, vetas angostas, cuerpos, mantos y diseminado.

2.2.15. Método de elementos finitos

Finitos (2009). El método de elementos finitos es aplicado sobre todo en problemas de ingeniería en temas mecánicos, térmicos, entre otros. Este método resuelve los problemas a través de sistemas de ecuaciones difíciles en derivadas parciales (EDP's), hace varios años estos eran inalcanzables e inclusive poco representativo de lo real.

Dicho método es usado en la física e ingeniería para la resolución de ecuaciones diferenciales, es posible resolver esto a mano pero toma bastante tiempo y los tiempos actuales requieren agilizar procesos repetitivos en cuestión de minutos y para ello se utilizan ordenadores que permite la solución de problemas complejos de manera inmediata con la aplicación del método de elementos finitos que en el rubro de la minería y la geomecánica consiste en simular esfuerzos, tensiones y mapas de calor de estabilidad de la roca, lo mencionado se calcula al discretizar la geometría analizada y esta a su vez forma una malla que está compuesta por elementos y nodos. Todo esto nos permite hallar el resultado del factor de seguridad, que tiene que ser >1 para asegurar que es estable.

2.2.16. Monitoreo de convergencia

Gisiberica (s.f.). Es uno de los monitoreos más comunes aplicados a las excavaciones subterráneas y la tunelería en el rubro de la minería, además de que es rápida y económica. Tal como se muestra en la figura, es aplicado para medir la longitud de diferentes puntos ubicados en la sección típica de una excavación subterránea, para la medición se da uso de la cinta extensométrica y también se tiene que instalar argollas en los extremos de la labor o según el criterio del instrumentista, por lo general se pone 3 puntos (2 en los hastiales y 1 en la corona o techo), estos puntos instalados deben permanecer protegidos, aislados del polvo y no se debe ejercer ningún tipo de fuerza inducida sobre ellos, pues esta acción podría dar información no exacta.

La cinta extensométrica es un instrumento de medición que está compuesta por una cinta métrica metálica, un reloj que indica la medida como mínimo la décima de milímetro. Para un buen funcionamiento y para mayor precisión, la cinta debe estar tensada.

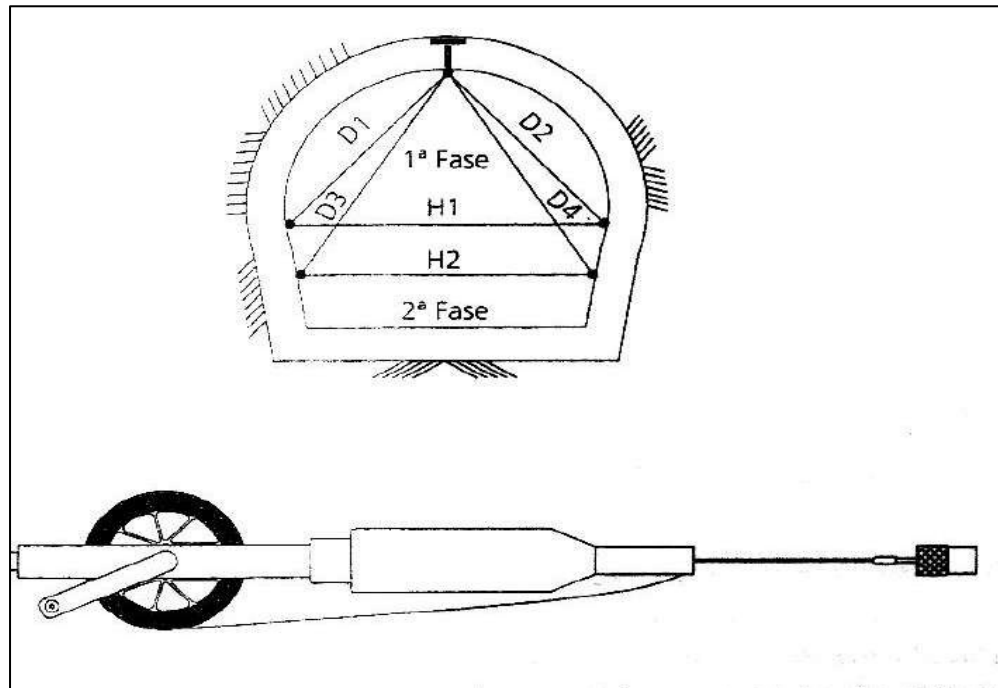
Luego de ser ejecutado la excavación subterránea se debe colocar en la sección los puntos que se desea medir para llevar un control exacto desde el primer día de exposición, puesto que se tendrá mejor control de las deformaciones producidas por los esfuerzos.

En todos los casos, según estadísticas alrededor de un 30% hay mayor movimiento por delante del frente, y un 20% el movimiento que se produce antes de la medición, por lo tanto se mide un 50% o menos de la convergencia de una excavación subterránea, este control se debe realizar de manera diaria hasta que la convergencia o divergencia sea mínima o haya alcanzado la estabilidad y los movimientos se igualen a cero, en caso de que los movimientos sean muy frecuentes se recomienda realizar hasta dos monitoreos por día, cuando ya se logre una estabilidad es recomendable realizar

mediciones mensuales en caso de que sean labores o excavaciones permanentes.

El monitoreo de convergencia es una medición relativa, dicho de otra forma, no se sabe el movimiento real, solamente se conoce la variación de la longitud entre dos puntos.

Figura 10. Punto de monitoreo de convergencia y cinta extensométrica.



Fuente. Gisibérica.

2.2.17. NSR (Retorno neto de fundición)

Trainings (2022). El producto final de toda mina es el concentrado sea cual sea el metal que haya tratado en la planta concentradora, solamente en casos raros el mineral se puede enviar de manera directa podría ser por alta ley de estos. En resumen el retorno neto de fundición o en inglés Net Smelter Return se define como el valor del concentrado de mineral ya sea hierro, cobre, plomo, plata, oro, etc. Este valor que es representado en muchos casos en dólares por tonelada contiene los diferentes descuentos o gastos que se realizó

para llegar al producto final. De esto deriva fácilmente el término abreviado en inglés NSR.

2.2.18. RS2

Es un software geotécnico que permite analizar la estabilidad de una excavación subterránea a partir de una data acerca de las propiedades físicas de la roca, las excavaciones que se desea analizar, tipos de roca tanto de la excavación y aledañas a la excavación. Este software es muy potente y sencillo de utilizar, trabaja con el método continuos de elementos finitos (FEM) y es recomendado en geometrías complejas no homogéneas, para que finalmente nos dé como resultado el factor de seguridad.

$$FS = \frac{\sum Fr}{\sum Fv}$$

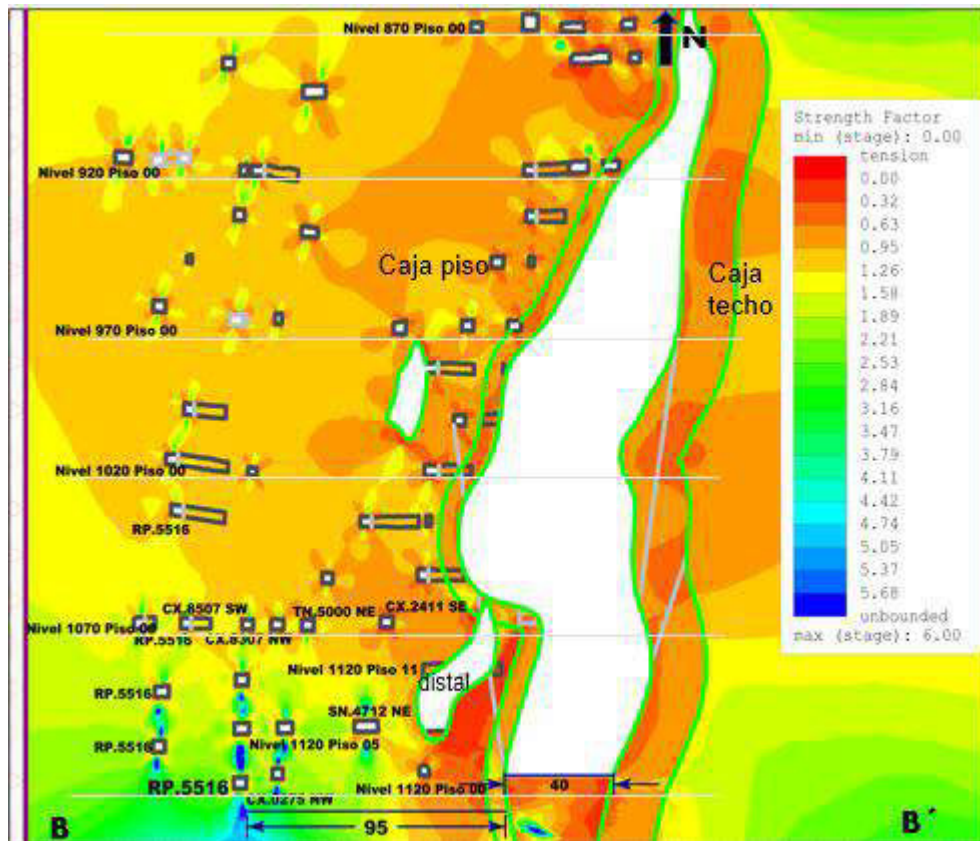
Donde:

FS: Factor de seguridad

Fr: Fuerzas resitoras

Fv: Fuerzas en contra

Figura 11. Modelamiento con RS2 – C. Esperanza

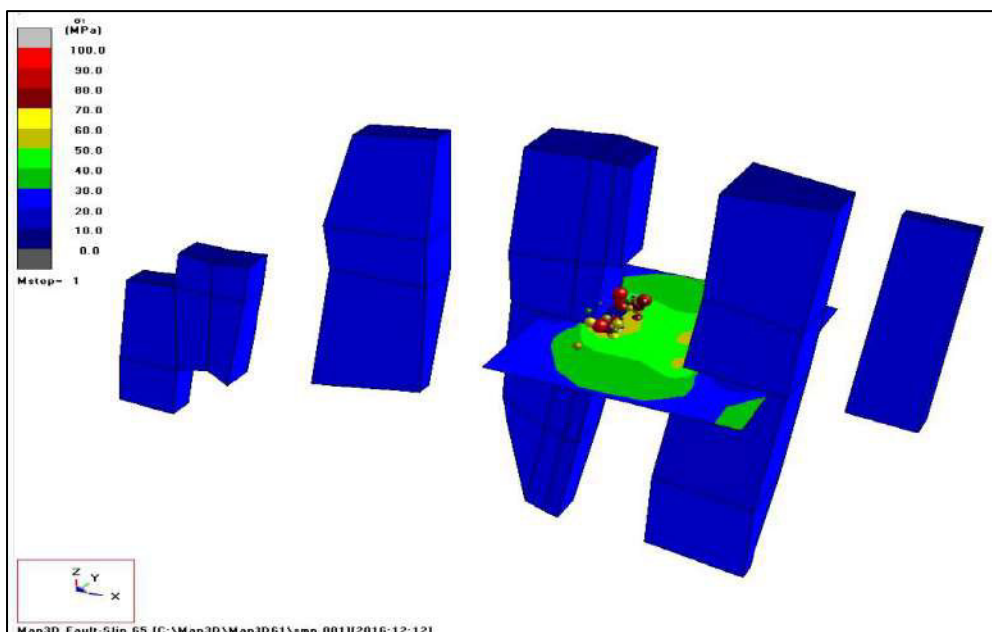


Fuente. SMCSA

2.2.19. Map 3D

CAD (2022). Es un software que se distingue a Map3D de otros programas de análisis es su capacidad para adaptarse a una amplia gama de problemas en 3D. Los problemas grandes, complejos y completamente en 3D se pueden construir con facilidad utilizando la funcionalidad CAD integrada. El uso combinado de elementos FF y DD permite simulaciones de excavaciones en 3D con fracturas que se cruzan o planos de corte. Las diversas versiones de Map3D son totalmente compatibles con Plastic Fault-Slip y plasticidad de masa rocosa 3D, con archivos de entrada compatibles para todas las versiones, lo que proporciona una ruta de actualización clara, ya que el usuario requiere actualizaciones a capacidades avanzadas.

Figura 12. Simulación de eventos sísmicos MAP3D.



Fuente. MAP3D

2.4. Marcos Conceptuales o Glosario

2.3.1. Ubicación, acceso y clima

La mina Yauricocha está ubicado en el distrito de Alis, provincia de Yauyos, departamento de Lima, a una altitud que varía entre los 4200 y los 4720 msnm.

El acceso a la citada unidad minera es por 3 rutas, siendo las principales vías la Carretera Central y la Carretera Panamericana Sur, las rutas en mención son las que a continuación se mencionan:

Tabla 3. Rutas para llegar a U.A. Yauricocha

Segmento	Distancia	Tipo de transporte
Lima – La Oroya – Yauricocha	320 km	Terrestre
Lima – Huancayo – Yauricocha	415 km	Terrestre
Lima – Cañete – Yauricocha	345 km	Terrestre

Fuente. Elaboración propia.

En la estación de invierno hay presencia de lluvias, nieve con vientos fríos y por las noches la temperatura es bajo cero, en épocas

de verano las temperaturas no superan los 12° C, hay un sol radiante y no se tiene presencia de nubes, catalogada como una región frígida y húmeda.

CAPITULO III: MARCO GEOLÓGICO

3.1. Marco Geológico

3.1.1. Geomorfología

Se diferencia de las otras por ser parte de la cabecera de la cuenca del río Cañete, además de ser levante de la quebrada Chumpe, afluente del río Cañete.

Tiene una geomorfología de origen glacial ya que se tiene un intemperismo notable de las formaciones piritosas, tiene valles en “U” de forma descendente que origina terrazas en las cuales se forman lagunas escalonadas.

La cuenca de Yauricocha está emplazada en depresiones onduladas sobre todo con superficies rocosas, y cumbres que lo rodean con un rápido descenso de nivel debido a laderas con gran pendiente, estas cumbres llegan a una altitud aproximada de 4,850 msnm, siendo

la cumbre más alta el cerro Astamarca con una altitud de 5,019.8 msnm.

3.1.2. Marco geotectónico

La placa de Nazca en relación con la placa Sudamericana dio origen al desarrollo de la cadena andina, estas se muestran en forma de franjas paralelas al litoral de la costa peruana de Oeste a Este: La zona costanera, la cordillera oriental, la zona de subducción y la zona subandina. Esto trae como consecuencia movimientos de deformación previa a la orogenia (Fase Inter Albiana) y plegamientos regionales con fallamientos y fracturamientos (Fase Peruana).

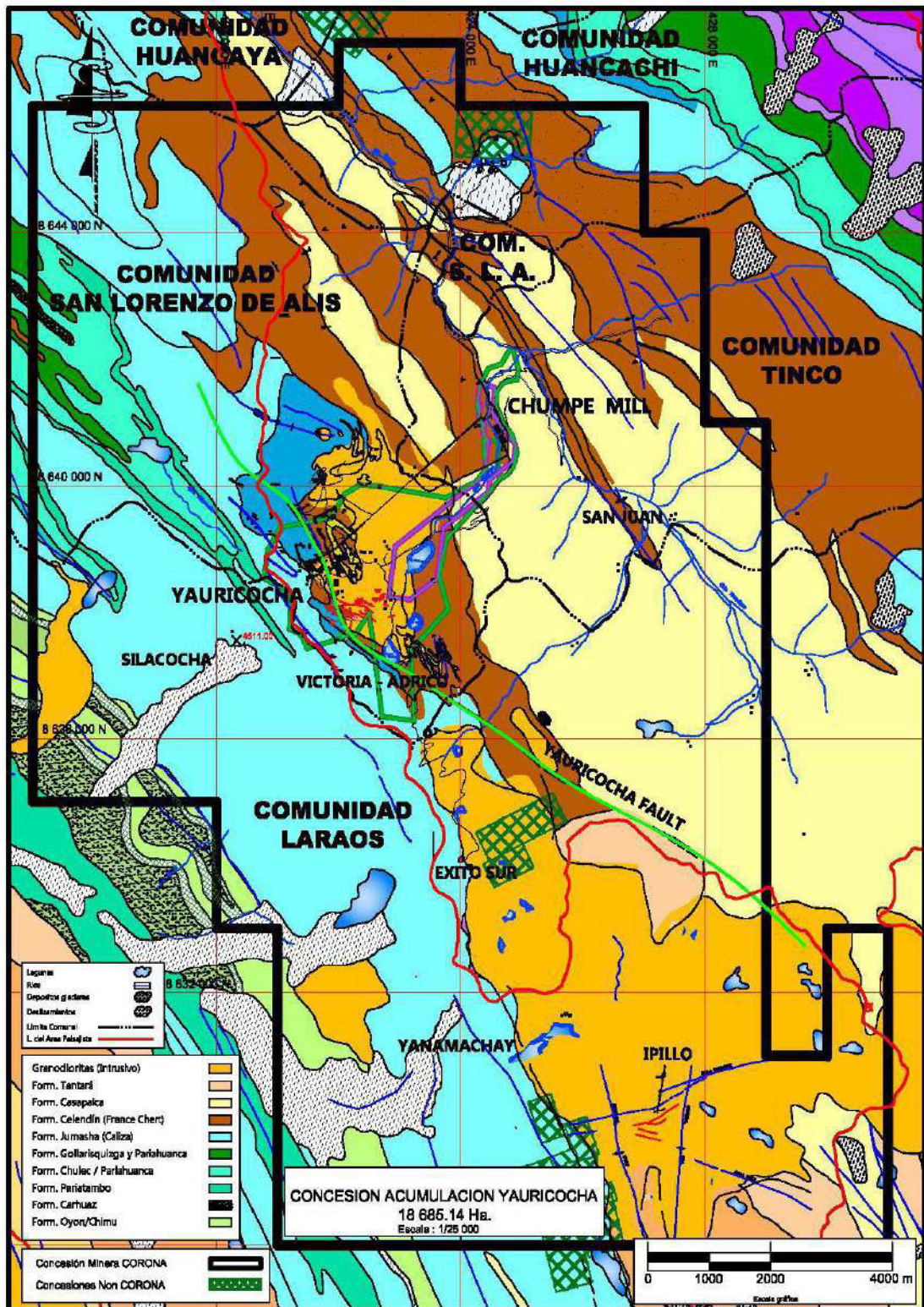
3.1.3. Geología regional

A nivel regional la zona está conformada por capas de rocas sedimentarias que presentan una orientación aproximada de NW-SE, asociadas a un fuerte plegamiento que ha generado la formación de anticlinales y sinclinales en toda la zona.

La presencia de stocks de origen ígneo intrusivo y extrusivo, que tienen geometrías irregulares y que están distribuidas de manera errática, al contacto con las capas sedimentarias, han formado concentraciones de mineral económico en gran parte de ellos.

Entre las capas sedimentarias más potentes están la Formación Jumasha, Formación Casapalca y Formación Celendín.

Figura 13. Geología Regional Yauricocha.



Fuente. Departamento de geología – SMCSA.

3.1.4. Estratigrafía

Según, la estratigrafía generalizada y regional de las cordilleras oriental, occidental y central, la estratigrafía del área de estudio de la más antigua a la más reciente está compuesta de la manera que se explicará a continuación:

➤ **Formación Carhuáz – Grupo Goyllarisquizga – Cretáceo Inferior**

Constituida por lutitas con intercalaciones de yeso, areniscas y en la zona inferior se tiene capas delgadas de caliza, correspondientes al Valanginiano – Barremiano, los cuales se aprecian el NE y NW del área de estudio.

➤ **Formación Farrat – Grupo Goyllarisquizga – Cretáceo Inferior**

Constituida por bancos de cuarcitas grises blanquecinas y areniscas con estratificación cruzada, intercaladas con lutitas grises a pardo rojizas. En el área de influencia de la Mina Yauricocha no se observan directamente las rocas de esta formación.

➤ **Formación Pariahuanca – Cretáceo Inferior**

Formada por calizas arenosas, gris pardo, intercalada con areniscas y lutitas de colores pardos amarillentos y rojizos, correspondientes al Barremiano, se aprecian al NE-E, NW y SW del área de estudio.

➤ **Formación Chulec – Cretáceo Inferior**

Compuesta por calizas margosas de color amarillento y pardo en la zona superior además contiene lutitas, margas, areniscas

calcáreas. Su edad se relaciona al Barremiano. Se aprecia al NE-E, NW y SW del área de estudio.

➤ **Formación Pariatambo – Cretáceo Inferior**

Compuesta por intercalaciones de lutitas y margas en las calizas cuyo color representativo es de oscuro a negro. Su edad corresponde a Barremiano a Aptiano. Se aprecia al NE-E y NW de la zona estudiada.

➤ **Formación Jumasha – Cretáceo Superior**

Constituida por calizas masivamente estratificadas en bancos medianos y gruesos con intercalaciones lutáceas en la base, alcanzando una potencia de 800 m. Su edad corresponde del Aptiano al Turoniano. Se aprecia al NE, N y todo el flanco E del área de estudio.

➤ **Formación Celendín – Cretáceo Superior**

Constituida por chert y lutitas, es una unidad litológica de facie más arcillosa presentando potencias de 100 a 300 m. Su edad corresponde al Coniaciano-Santoniano. Se aprecia en todo el flanco E de la mina, hacia el contacto con la caliza. Es conocida localmente como France Chert.

➤ **Formación Casapalca – Cretáceo Superior a Terciario Inferior**

Constituida por areniscas, lutitas y calizas arenosas correspondientes al Campaniano-Paleoceno. Su potencia varía de 500 a 2000 m. Se aprecia en el N, E y SE del área de influencia de la mina.

➤ Formación Tantará – Eoceno Superior

Compuesta por rocas volcánicas neógenas, derrames volcánicos de composición andesítica a riolítica discordantes a la Formación Casapalca.

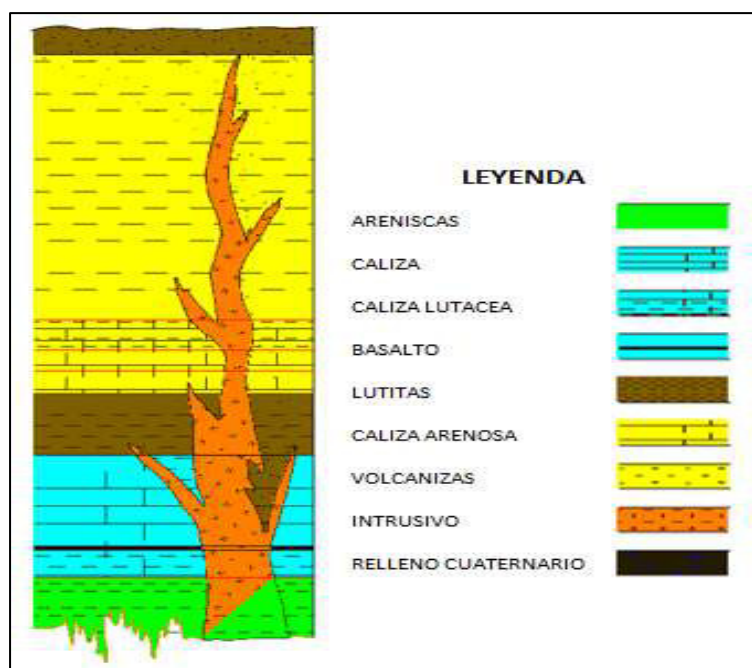
➤ Rocas intrusivas

Están conformadas por plutones granodioríticos a cuarzo-monzoníticos en contacto con las capas sedimentarias. Su edad corresponde a finales del mioceno. Se aprecian en distintas partes del área de estudio.

➤ Cuaternario

Está representado por materiales no consolidados de cobertura, conformando depósitos coluviales y aluviales. En la siguiente figura se muestra la columna estratigráfica del área de Yauricocha.

Figura 14. Columna estratigráfica del área de Yauricocha.



Fuente. SMCSA.

3.2. Geología local

El área está constituida por capas sedimentarias que han sido intruidas por plutones cuya composición es granodiorítica a cuarzo - monzonita, que ha dado lugar a un metamorfismo de contacto que está controlado por la orientación del plegamiento de los estratos siguiendo un rumbo NW-SE, ocurriendo la mineralización a través de este control estructural, existen también estructuras tensionales (vetas). En algunas zonas se aprecia pseudo-capas volcánicas como en la Formación Tantará.

Los depósitos minerales están ubicados en la formación de caliza Jumasha y se distribuyen tanto en el interior de la caliza como a lo largo de la interfaz con las lutitas Celendín (France Chert), así como en contacto con las intrusiones ígneas. Estos depósitos presentan una forma irregular y lenticular, con sus dimensiones más extensas alineadas en la dirección general de las capas rocosas (NW-SE), y se inclinan con un ángulo pronunciado hacia el nordeste o son casi verticales.

Las vetas ocurren tanto en el intrusivo como en la caliza Jumasha, pero parecen desarrollarse mejor en el primero, siendo su potencia variable de 0.50 m a 2.50 m. La litología local está constituida por las Formaciones Goyllarisquizga, Jumasha, Celendín y Casapalca.

- La Formación Goyllarisquizga presenta una potencia de 300 m y está conformada por areniscas gruesas que varían en color de blanco a gris y muestran capas alternas con lutitas ricas en carbono. También se observan pequeñas capas de carbón de baja calidad y depósitos de arcilla en la misma formación.
- La Formación Jumasha está compuesta por caliza masiva de color gris claro sucedida por lentes discontinuos de calizas marrones y grises, cerca al contacto se aprecia lutitas carbonosas, además, en la misma área se encuentran pseudo-

brechas que parecen tener un origen sedimentario, junto con una intrusión de basalto en forma de sill.

- La Formación Celendín está compuesta por lutitas silicificadas con intercalaciones de caliza recristalizada.
- La Formación Casapalca se constituye principalmente de lutitas rojas calcáreas, calizas de alta pureza y calizas arenosas de tonalidad rojiza. En ocasiones, también se ha registrado la existencia de flujos de lava y estratos tufáceos dentro de esta formación.

Localmente no se aprecian las Formaciones Chulec, Pariahuanca y Pariatambo. Las rocas intrusivas muestran límites claramente definidos y forman ángulos pronunciados con las capas de rocas sedimentarias. También exhiben una tendencia a seguir la dirección general de la estratificación, y sus composiciones oscilan entre granodiorita y cuarzo-monzonita. Estas formaciones varían en tamaño desde cuerpos que abarcan cientos de metros cuadrados hasta masas extensas que cubren varios kilómetros cuadrados. Es común observar la presencia de apófisis más pequeñas en los bordes de las intrusiones más grandes.

3.3. Geología estructural

Las capas sedimentarias presentan una orientación en dirección noroeste-sureste, la cual está en consonancia con el proceso de plegamiento que ha afectado a toda la región. Como resultado de este fenómeno, se han formado varios anticlinales (pliegues convexos) y sinclinales (pliegues cóncavos), algunos de los cuales exhiben un ángulo pronunciado en las capas sedimentarias.

Debido a una falla de desgarre en la base de la formación rocosa, la dirección noroeste (NW) de las capas sedimentarias que se encontraban

plegadas experimentó una rotación en sentido horario de aproximadamente 20° a 30° debido a fuerzas horizontales. Como consecuencia de esta rotación, se desarrollaron tres sistemas principales de cizallamiento y fracturamiento con direcciones de este-oeste (E-W), noroeste-sureste (NW-SE) y noreste-suroeste (NE-SW).

El primer sistema de fracturamiento es casi vertical, con un ángulo de inclinación de aproximadamente 80 grados hacia el norte o el sur. El segundo sistema presenta un buzamiento de alrededor de 70 grados en dirección noreste, influenciado por la orientación de las capas en la zona de cizallamiento. Por último, el tercer sistema de fracturamiento muestra un buzamiento de unos 75 grados hacia el sureste.

En el área de Yauricocha, se pueden identificar diversas estructuras geológicas que desempeñan un papel importante en la disposición de las formaciones rocosas y la mineralización. Estas estructuras incluyen:

Anticlinal Purísima Concepción: Es un pliegue apretado definido por un sill de basalto de 17 m de espesor. Su eje tiene una orientación aproximada de $N50^\circ W$ y un suave ángulo de inclinación (plunge) de 20° al sureste.

Sinclinal France Chert: Localizado al noreste de la mina, este pliegue apretado presenta un eje que cambia de dirección de $N35^\circ W$ en el sur a $N65^\circ W$ en el norte. Su ángulo de inclinación es de 40° hacia el sureste.

Anticlinal Cachi-Cachi-Prometida: Este anticlinal se extiende al norte de la Mina Central y su eje muestra una orientación aproximada de $N80^\circ W$ a $N70^\circ W$. Los flancos norte (Prometida) y sur (Cachi-Cachi) tienen inclinaciones opuestas y un suave ángulo de inclinación hacia el este.

Sinclinal Quimpara: Ubicado al sur del desagüe de la laguna Pumacocha, este sinclinal tiene un eje con rumbo $N45^\circ W$. El flanco este

descansa sobre el intrusivo con un ángulo de 70° a 75° hacia el oeste, mientras que el flanco oeste presenta un ángulo de aproximadamente 80° hacia el este.

Durante el proceso de plegamiento, que ocurrió antes o al mismo tiempo que la intrusión ígnea, se generaron fracturas longitudinales paralelas a la dirección regional de la estratificación. Destaca la importancia de la falla Yauricocha, que se extiende a lo largo del contacto entre las formaciones caliza Jumasha y lutita Celendín. Esta falla se extiende significativamente al sureste de la Mina Ipillo y sigue hacia el norte, pasando por el cerro Huamanripa y paralela a la laguna Silacocha. Estas fracturas, junto con la falla Yauricocha, influyeron en gran medida en la distribución de la mineralización.

Las vetas en la zona se pueden agrupar en tres sistemas principales: el primero con una orientación de rumbo $N70^{\circ}-80^{\circ}W$ y un buzamiento de $60^{\circ}-80^{\circ}$ hacia el suroeste o noreste; el segundo con rumbo $N70^{\circ}-80^{\circ}E$ y un buzamiento de $65^{\circ}-80^{\circ}$ hacia el noroeste; y el tercer sistema con un rumbo ligeramente este-oeste y un buzamiento hacia el norte y el sur.

El contacto entre las formaciones caliza Jumasha y France Chert ha tenido un fuerte impacto en la forma y la posición de los cuerpos minerales, con una orientación de NW a SE y un buzamiento entre 85° y 70° hacia el noreste.

3.4. Geología económica

La Unidad Minera Yauricocha está conformada por las minas: Central, Cachi Cachi, Exito, Ipillo y Victoria. La mina principal actualmente es la Mina Central, formando parte de este nuevo yacimiento Esperanza de reciente descubrimiento y que en la actualidad se encuentra en proceso de explotación.

La mineralización en la Mina Yauricocha se compone principalmente de pirita, cuarzo, enargita, chalcopirita, bornita y covelita en la parte central y núcleo de los cuerpos minerales. En la periferia, se encuentran masas desprendidas de pirita friable, galena y esfalerita, junto con algo de chalcopirita, en una matriz de caliza, arcilla y cuarzo. Además, la presencia de oro nativo está asociada a estos sulfuros. Los minerales ganga incluyen cuarzo, especularita, calcita, fluorita y baritina.

El origen de esta mineralización está vinculado a un sistema hidrotermal porfirítico, y las soluciones que llevaron a la formación de los minerales se estiman que alcanzaron temperaturas de alrededor de 500°C. Esto coloca a la mineralización en la categoría de depósito xenotermal según la clasificación de A.F. Buddington, lo que indica condiciones de alta temperatura y baja presión.

El zoneamiento mineralógico del distrito es como sigue, el núcleo o parte central consistente de enargita se ubica dentro de las calizas Jumasha cerca al contacto con el France Chert, luego, hacia el W vienen los cuerpos ricos en bornita y calcopirita con predominancia también de enargita, y más al W, aparecen los cuerpos ricos en minerales de Pb-Zn, Ag y Au. Este mismo zoneamiento es observado en pequeña escala, a tamaño de cuerpo.

La mineralización ocurre en cuerpos y vetas, de manera generalizada se darán las características en cada uno de ellos:

3.1.5. Cuerpos

Los depósitos minerales se encuentran en la formación de caliza Jumasha y se agrupan tanto dentro de la caliza como a lo largo del límite con las lutitas de la formación Celendín (France Chert) y en proximidad de las rocas intrusivas. Estos cuerpos minerales tienen una morfología irregular en forma de lente, con sus dimensiones más extensas alineadas en la dirección general de las capas rocosas (NW-SE) y se inclinan a un ángulo significativo hacia el noreste. Los anchos de estos cuerpos varían en un rango de 10 a 40 metros.

La composición mineralógica de estos depósitos incluye pirita, cuarzo, enargita, chalcopirita, bornita y covelita, que se encuentran principalmente en el núcleo o parte central de los cuerpos minerales. Alrededor de estos núcleos, se presentan masas dispersas de pirita friable, galena, esfalerita, tetraedrita y geocronita, junto con algo de chalcopirita, en una matriz compuesta por caliza, arcilla y cuarzo.

La disposición de estos cuerpos en la Mina Central es bastante irregular. Algunos de ellos se encuentran interconectados entre sí, creando zonas mineralizadas más amplias. Ejemplos de esto son los cuerpos Catas-Contacto Oriental-Antacaca. Otros cuerpos están parcialmente interconectados, formando áreas relativamente grandes, como los cuerpos Butz - Pozo Rico – Violeta - Erika. Por último, existen cuerpos que aparecen como unidades individuales y están aislados de los demás, dando lugar a áreas relativamente pequeñas. Este es el caso de cuerpos como Cuye, Mascota, Sasacaca, Sur Medio, Contacto Occidental, Maritza y Cuye Norte.

Los cuerpos mineralizados de Mina Central ocurren a diferentes profundidades, algunos vienen desde superficie como es el caso del cuerpo Mascota, otros aparecen y terminan a determinada profundidad y otros continúan a mayor profundidad del minado actual.

Las exploraciones que se vienen realizando están permitiendo inferir la profundización de la mineralización por debajo del Nv. 920 en los cuerpos Catas, Antacaca, Cuye, y Mascota. Similarmente se está encontrando mineral prospectivo debajo del Nv. 920 en cuerpos como Antacaca Sur, Rosaura, Violeta 329, Contacto Oriental, Contacto Occidental y Pozo Rico. Todo esto indica que el minado futuro podría ir hasta el Nv. 1220 o incluso más.

3.1.6. Vetas

Las vetas se encuentran presentes tanto en el intrusivo como en la formación de caliza Jumasha, siendo más prominentes en el intrusivo. Tienen dimensiones horizontales y verticales relativamente limitadas, con un grosor que oscila entre 0.5 y 2.5 metros.

La mineralización en el interior de la caliza principalmente comprende pirita, esfalerita, galena, cuarzo y cierta cantidad de calcopirita. Por otro lado, en el intrusivo, la mineralización incluye pirita, cuarzo, enargita, galena, esfalerita, covelita, fluorita, hematita, blenda rubia y electrúm.

3.1.7. Subsistencia como resultado de la profundización

Sociedad Minera Corona S.A., viene realizando la explotación de su yacimiento utilizando el método de minado “hundimiento por subniveles” (Sub Level Caving – SLC) y a consecuencia de este minado se ha generado la subsistencia en el área superficial de la mina.

Cabe aclarar que “subsistencia” significa “hundimiento en profundidad” y “repercusión en superficie”.

El fenómeno de subsistencia de mina Yauricocha no es reciente, se han tenido disponibles memorándums internos de la Cerro de Pasco Corporation, ex propietario de esta mina, fechados desde diciembre de 1960 hasta octubre de 1962, en los cuales se tratan diferentes aspectos del problema de subsistencia que ocurría en la mina en aquel entonces.

Entre otros aspectos de interés los citados documentos revelan que a principios de 1961 hubo una crisis en la mina Yauricocha, por la

ocurrencia del fenómeno de subsidencia, lo cual condujo a pensar en reemplazar el sistema de izaje (se entiende que es el antiguo Pique Central), reubicar las oficinas de seguridad y la línea de energía eléctrica de mina Yauricocha. Los especialistas de aquel entonces recomendaron cesar las operaciones mineras en algunas áreas para extraer estas al final de la vida de la mina.

En el análisis del problema de subsidencia se señala que un macizo sólido conformado por granodiorita protegía al pique (se entiende Pique Central) del minado de los cuerpos Catas (Catas Principal, Catas W, Catas S, Catas S Split y Contacto E). Este macizo intrusivo se estimó como estructuralmente fuerte. El minado del cuerpo Pozo Rico, en el N inmediato del pique, si pudiera afectar y es responsable de la crisis antes mencionada, que se vio reflejada en el intenso agrietamiento del terreno superficial, registrándose grietas desde varios centímetros hasta 1 metro.

Cómo la subsidencia es inevitable con este método de minado es necesario realizar una evaluación geomecánica que nos proporcione información sobre las características de la subsidencia futura, a fin de poder adoptar medidas relacionadas al posible daño o a la protección de estructuras asociadas al minado.

CAPITULO IV: HIPÓTESIS Y VARIABLES

4.1. Hipótesis general

La aplicación de diversas técnicas, metodologías, prácticas observacionales, tecnológicas, el conocimiento y la experiencia hará posible optimizar el sistema de sostenimiento con Arco Peruano en el minado Sub Level Caving de altos esfuerzos en Mina Yauricocha – Sierra Metals y poder recuperar en su totalidad el mineral que podría perderse por el colapso de las labores.

4.2. Hipótesis específicas

1. Se podrá analizar y modelar los esfuerzos in-situ con el uso de los softwares geomecánicos tales como MAP 3D y RS2 que nos permitirán calcular la estabilidad global y asegurar la fortificación de las excavaciones.

2. Será posible tomar la data de monitoreo de convergencia de campo e interpretar en gabinete, así mismo analizar las muestras en el laboratorio con los ensayos de propiedades físico – mecánico para definir las propiedades físicas y mecánicas del cuerpo mineralizado y del tipo de acero de las cimbras.

4.3. Identificación de variables

4.3.1 Variable Independiente

Definir la optimización del sistema de sostenimiento con arco peruano.

4.3.2 Variable Dependiente

Estudiar las condiciones del minado Sublevel Caving de altos esfuerzos.

CAPITULO V: METODOLOGÍA

5.1. Tipo y Diseño de Investigación

Este trabajo de tesis es una investigación de enfoque aplicado y experimental. Se centra en realizar un diseño nuevo de sostenimiento para soportar los altos esfuerzos de la mina Yauricocha.

5.2. Unidad de análisis

En las labores, ventanas críticas (draw points) de altos esfuerzos ubicados en los diferentes niveles y pisos del Cuerpo Esperanza, para la variable correspondiente la unidad de análisis comprende un nuevo diseño de sostenimiento con arco peruano (cimbras + shotcrete).

5.3. Población de estudio

En el diseño de sostenimiento para labores de alto esfuerzo la población comprende todas las labores de explotación en la zona II cuerpo Esperanza en la Unidad Acumulación Yauricocha que es la zona en el cual se hizo uso de este diseño.

5.4. Tamaño de muestra

Para la variable correspondiente a definir el diseño de sostenimiento para labores de altos esfuerzos de la Unidad Acumulación Yauricocha el tamaño de muestra comprende de cada 10 metros desde el límite de mineral con el desmonte, es decir, el número de arcos peruanos dependiendo la longitud de la labor de explotación (ventanas) en los diferentes niveles y pisos del Cuerpo Esperanza a medida que se profundiza, son los que presentan una calidad de roca pobre y la dimensión de las labores son de 3.50x3.50m.

5.5. Selección de muestra

En el diseño de sostenimiento para labores de alto esfuerzo en la Unidad Acumulación Yauricocha la selección de muestra se realizó considerando las labores de explotación - ventanas (draw points) del Cuerpo Esperanza en las que se utilizaron los arcos peruanos en una sección de 3.50x3.50m.

5.6. Técnicas de recolección de Datos

La técnica empleada en la recolección de datos como fuente primaria fue la observación directa, la presente investigación parte desde la calidad pobre del macizo rocoso y como fuentes secundarias son:

- Planos de zonificación geomecánica
- Estudios geomecánicos

- Datos y gráficos estadísticos
- Registros

5.7. Análisis e interpretación de la información

Se analiza en los diferentes pisos y niveles, las labores de explotación (ventanas – draw points) del Cuerpo Esperanza para poder recuperar el mineral de alta ley, extraído de la Mina Yauricocha para obtener los datos necesarios para la realización de esta investigación, se aplicó diferentes métodos y técnicas lo cual se detalla en la siguiente figura.

Figura 15. Métodos y técnicas para la interpretación de la información.



Fuente. Elaboración propia.

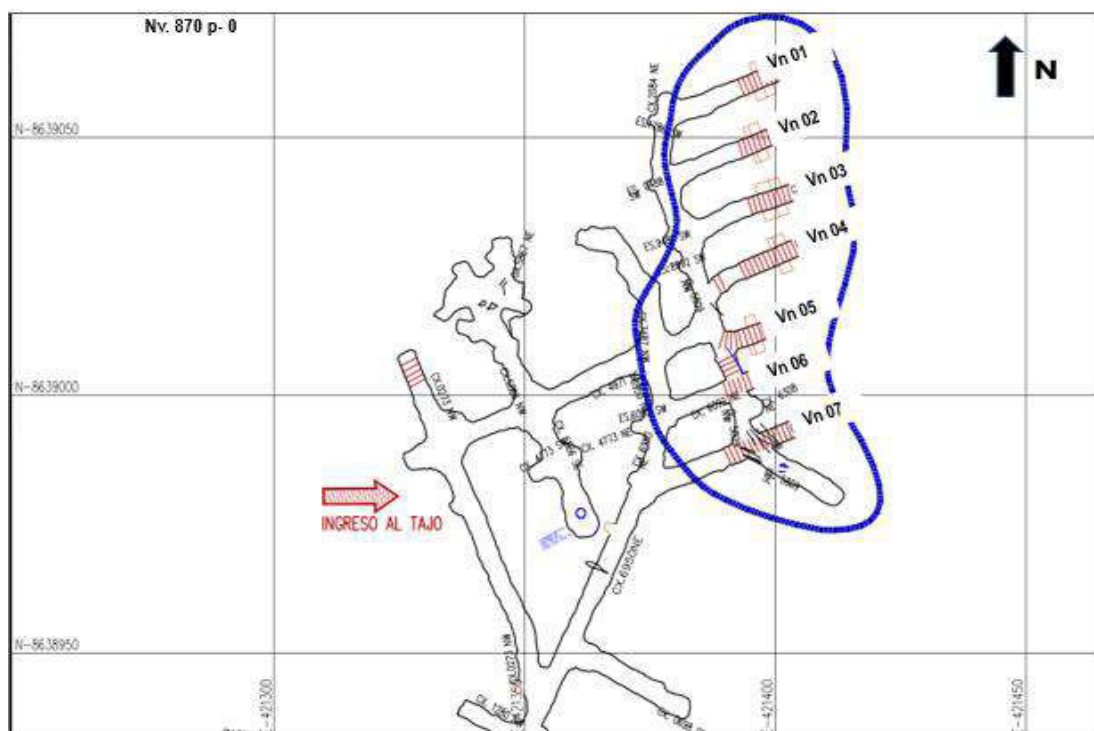
Respecto al minado subterráneo por el método de Sub Level Caving en la Mina Yauricocha de la empresa Sierra Metals, se sabe que con el paso de los años se ha generado una subsidencia debido al mineral extraído por gravedad, perforación y voladura en los niveles inferiores de la actividad minera. Esta subsidencia ocasiona espacios vacíos a lo largo de la profundización por lo que es de vital importancia su análisis e interpretación

para llegar a una conclusión y aplicar la optimización del sistema de sostenimiento.

Según el análisis en el Cuerpo Esperanza se tiene diferentes niveles, subniveles y pisos. Hasta hoy en día la explotación del Cuerpo Mineralizado de Esperanza sigue siendo explotado por el mismo método SLC, así como también existen niveles que ya están explotados en su totalidad esperando su recuperación en los niveles inferiores, estos niveles ya forman parte del cono de subsidencia y la acumulación de altos esfuerzos tienen un enfoque en los niveles que vienen siendo explotados, a continuación, se presenta la interpretación del cono de subsidencia, el contorneado de color azul representa el área de influencia del cono de subsidencia.

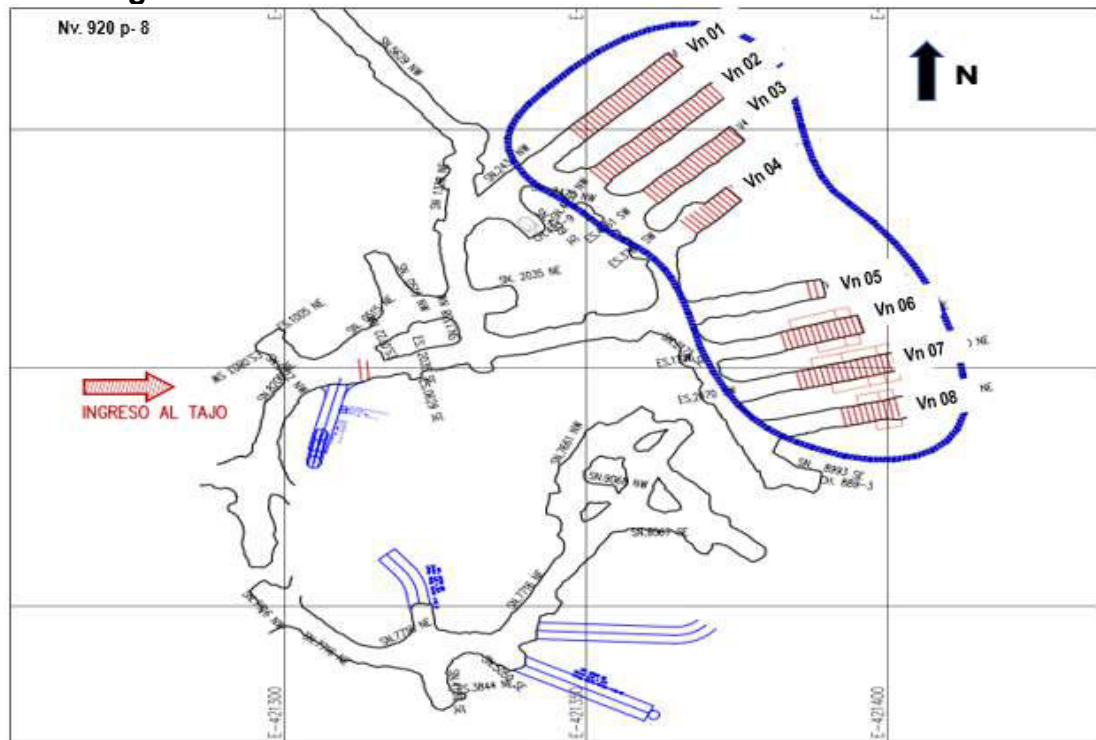
➤ **Interpretación del cono de subsidencia**

Figura 16. Cono de subsidencia - Nv.870 Piso 0.



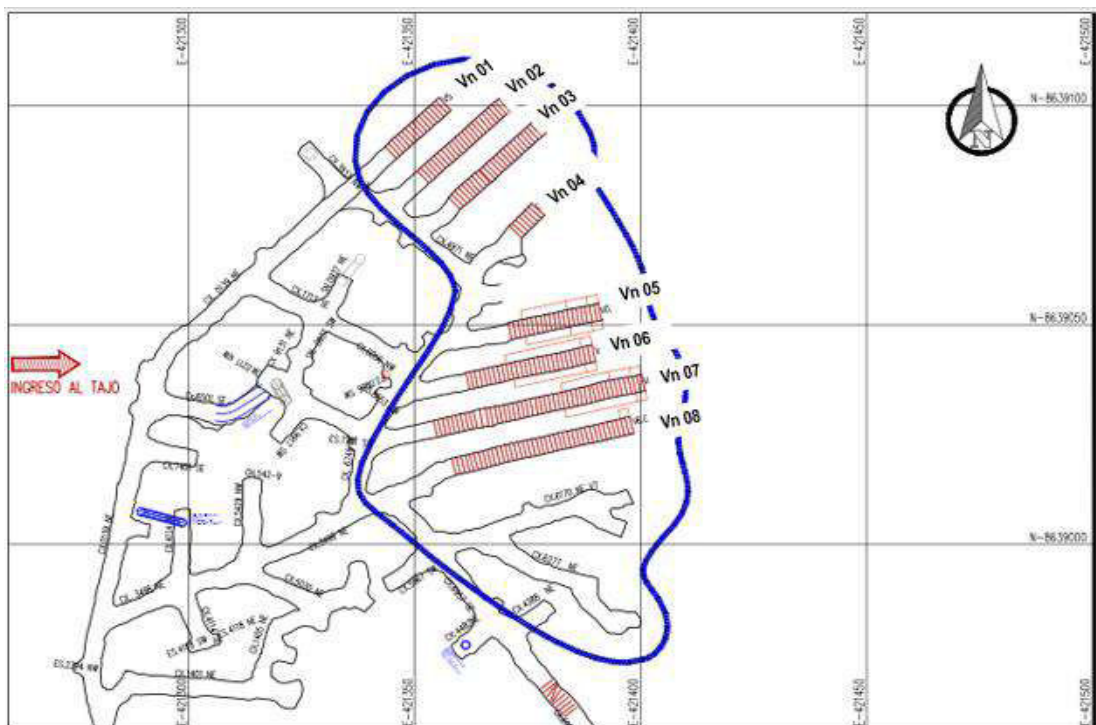
Fuente. Elaboración propia.

Figura 17. Cono de subsidencia - Nv.920 Piso 8.



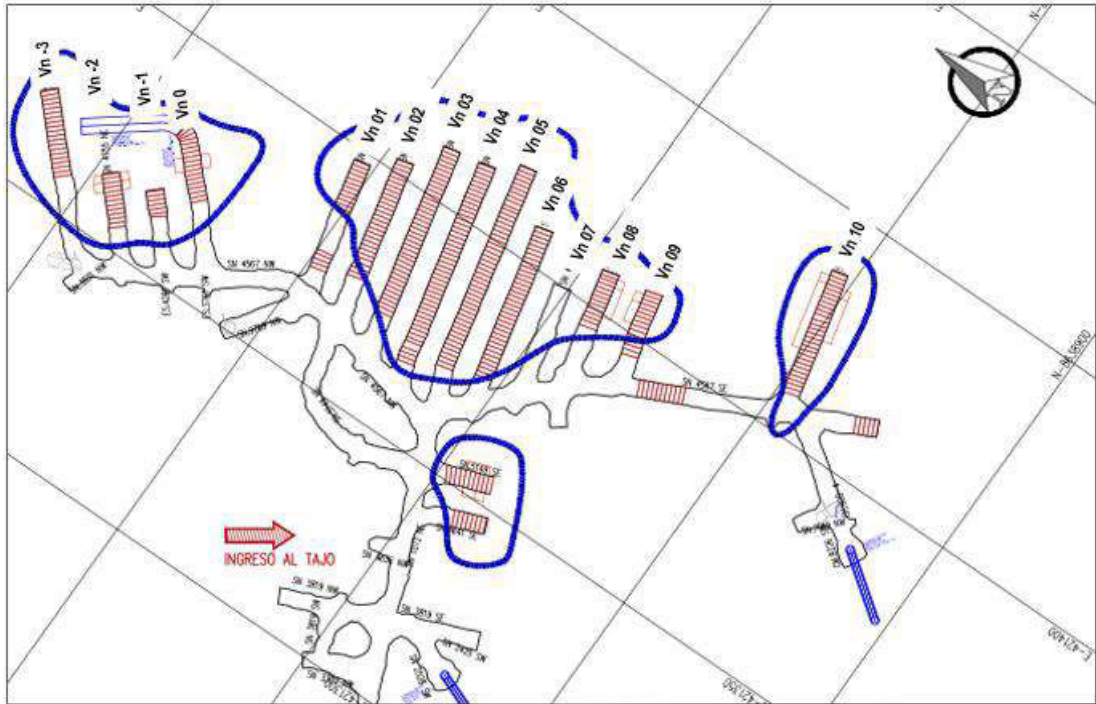
Fuente. Elaboración propia.

Figura 18. Cono de subsidencia - Nv.920 Piso 0.



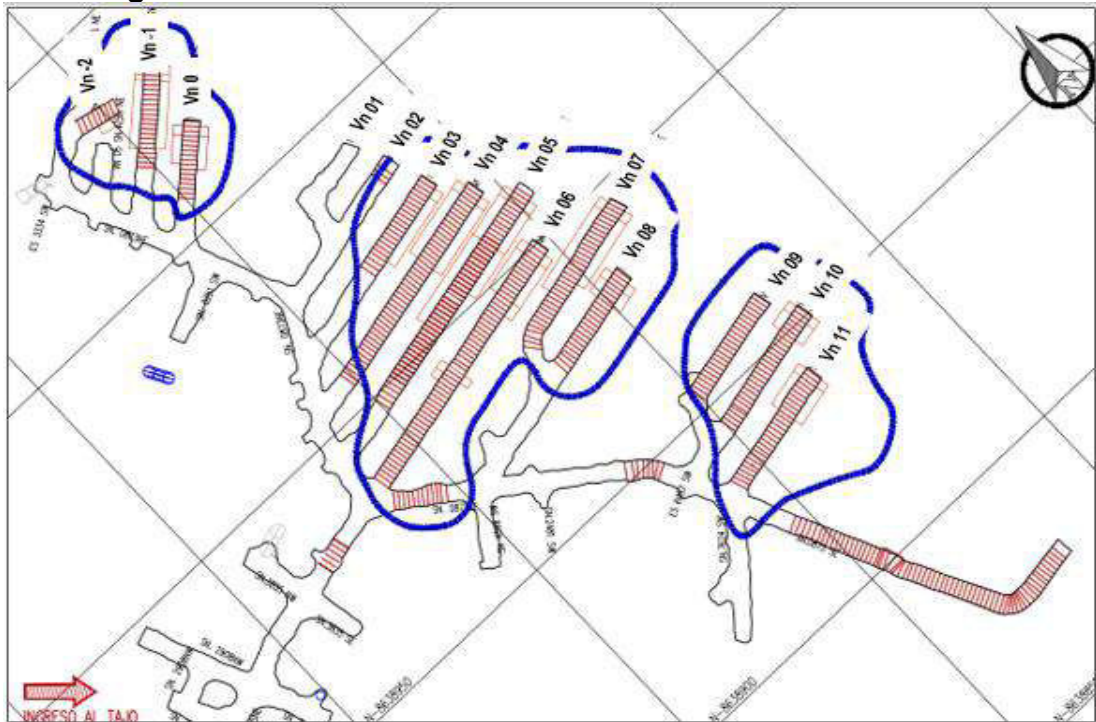
Fuente. Elaboración propia.

Figura 19. Cono de subsidencia - NV.970 Piso 16



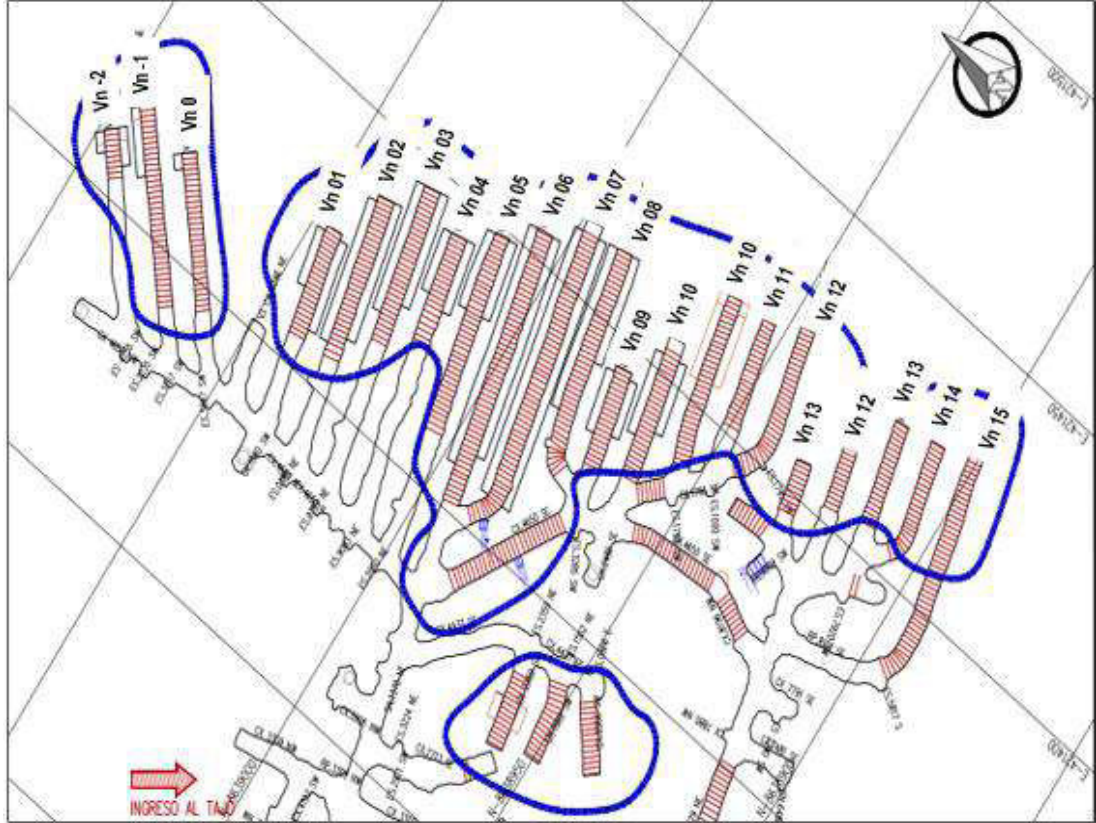
Fuente. Elaboración propia.

Figura 20. Cono de subsidencia - Nv.970 Piso 8. Fuente.



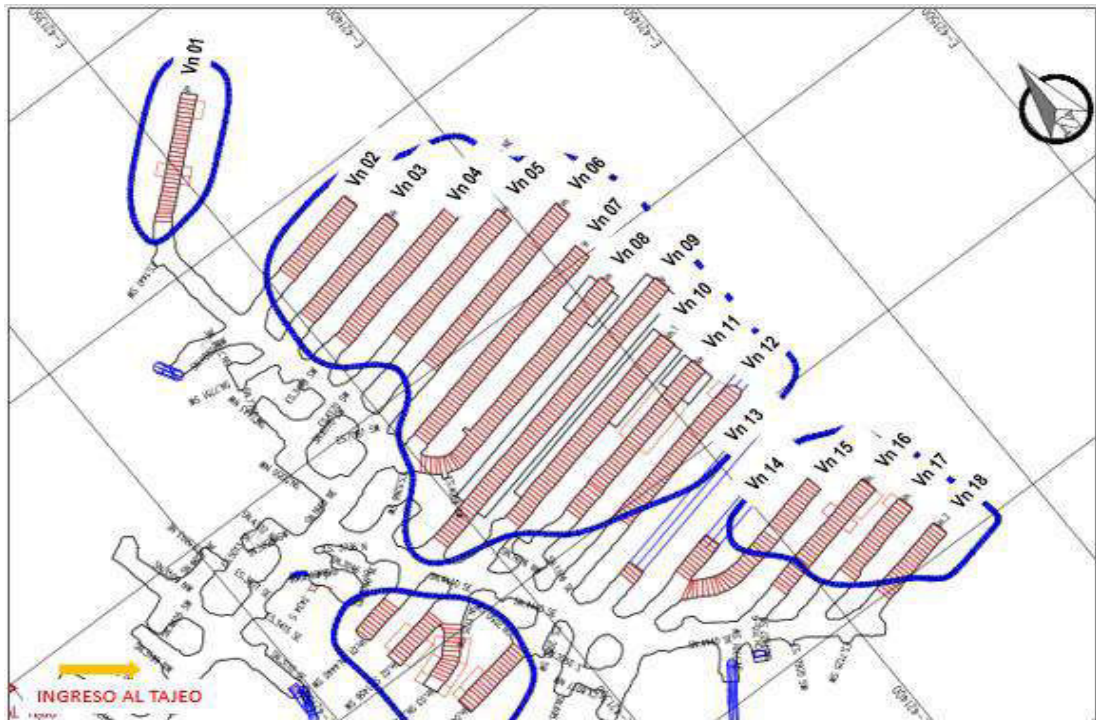
Elaboración propia.

Figura 21. Cono de subsidencia - Nv.970 Piso 0.



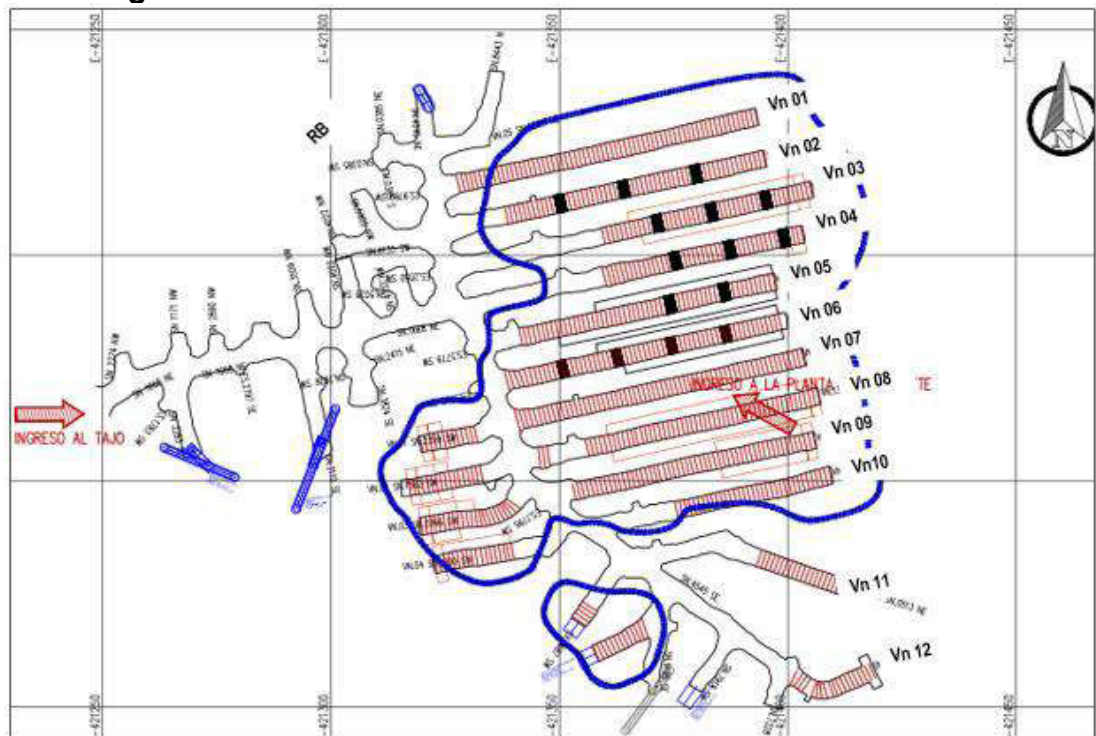
Fuente. Elaboración propia.

Figura 22. Cono de subsidencia - Nv.1020 Piso 16.



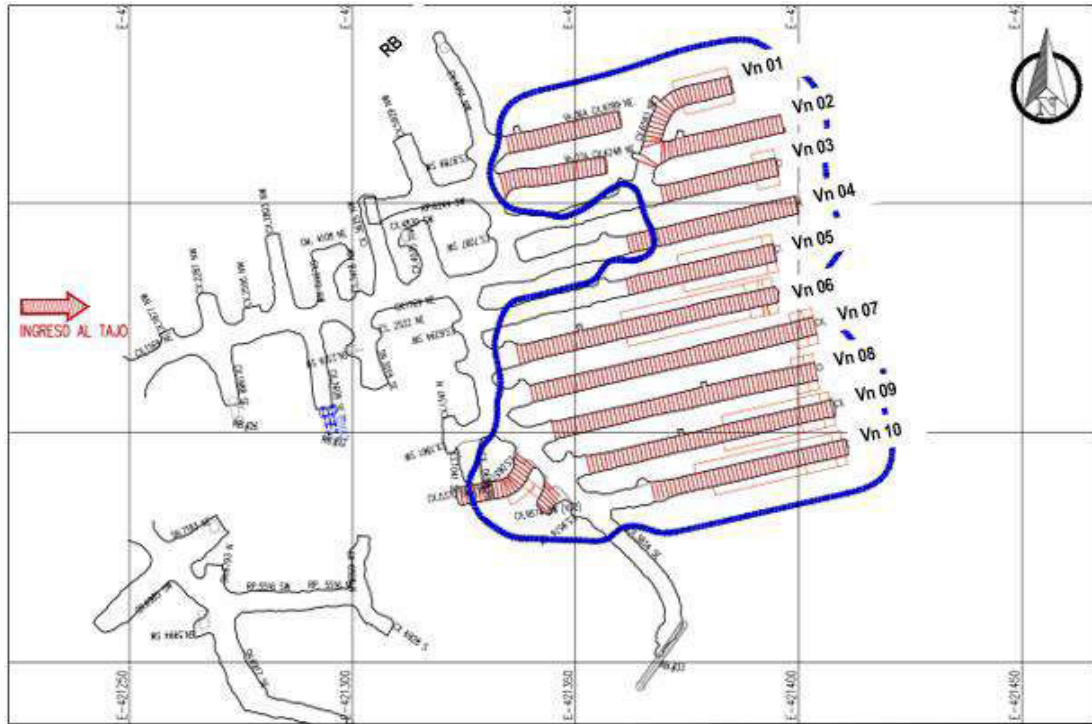
Fuente. Elaboración propia.

Figura 23. Cono de subsidencia - Nv. 1020 Piso 8.



Fuente. Elaboración propia.

Figura 24. Cono de subsidencia - Nv.1020 Piso 0.



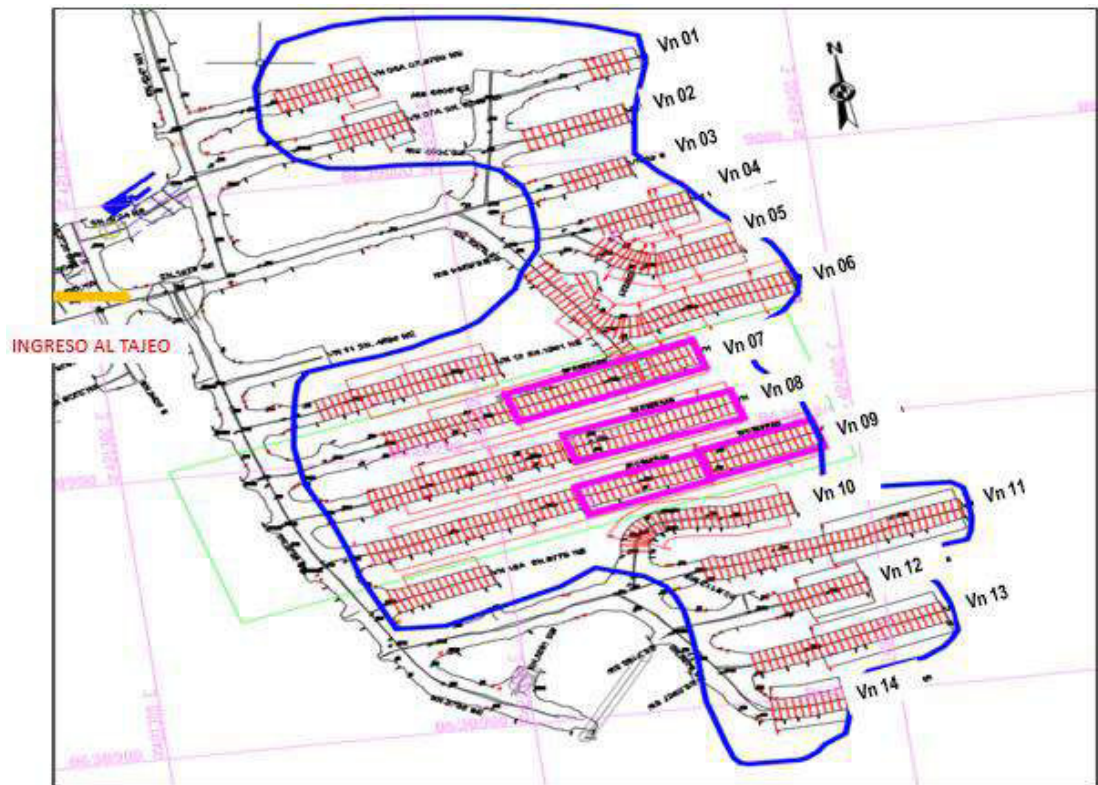
Fuente. Elaboración propia.

Figura 25. Cono de subsidencia - Nv. 1070 Piso 11.



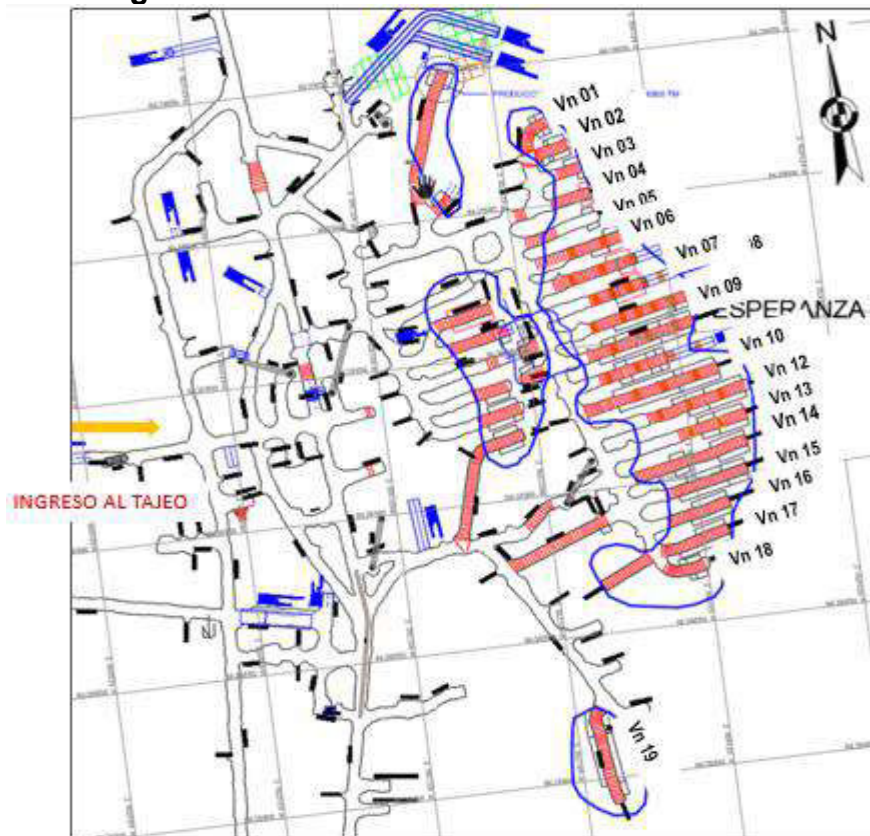
Fuente. Elaboración propia.

Figura 26. Cono de subsidencia - Nv.1070 Piso 5.



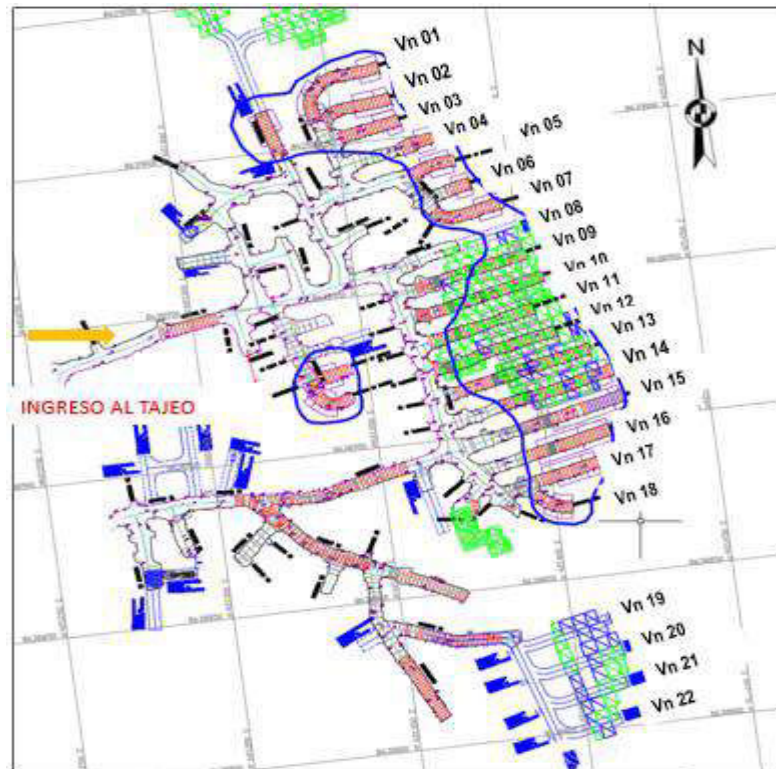
Fuente. Elaboración propia.

Figura 27. Cono de subsidencia - Nv.1070 Piso 0.



Fuente. Elaboración propia.

Figura 28. Cono de subsidencia - Nv. 1120 Piso 11.



Fuente. Elaboración propia.

Por lo tanto, en las figuras se muestra el área de influencia del cono de subsidencia producto de la mineralización explotada, los pilares en las zonas más profundas presentan mayor estrés tal como se muestra en la figura 28, esto debido a que la presión es mayor y así mismo por la concentración de esfuerzos en esas labores, además agregado a eso que los pilares tienen un ancho de 5.5m por lo que es necesario la optimización del sostenimiento.

Figura 29. Pilares estresados en SLC - Nv. 1120 Piso 11.





Fuente. Elaboración propia.

Este fenómeno que ocurre con más frecuencia según profundización también incurre y se ve reflejado en las cimbras y cimbras de refuerzo ya que estas son deformadas en un corto tiempo después de ser instaladas.

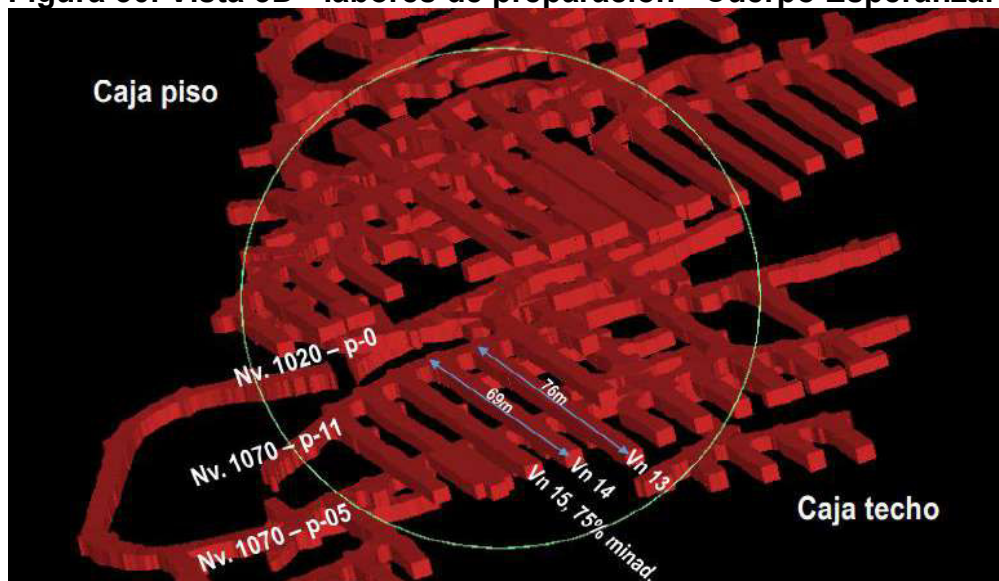
CAPITULO VI: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1. Análisis, interpretación y discusión de resultados

6.1.1. Cuerpo Esperanza

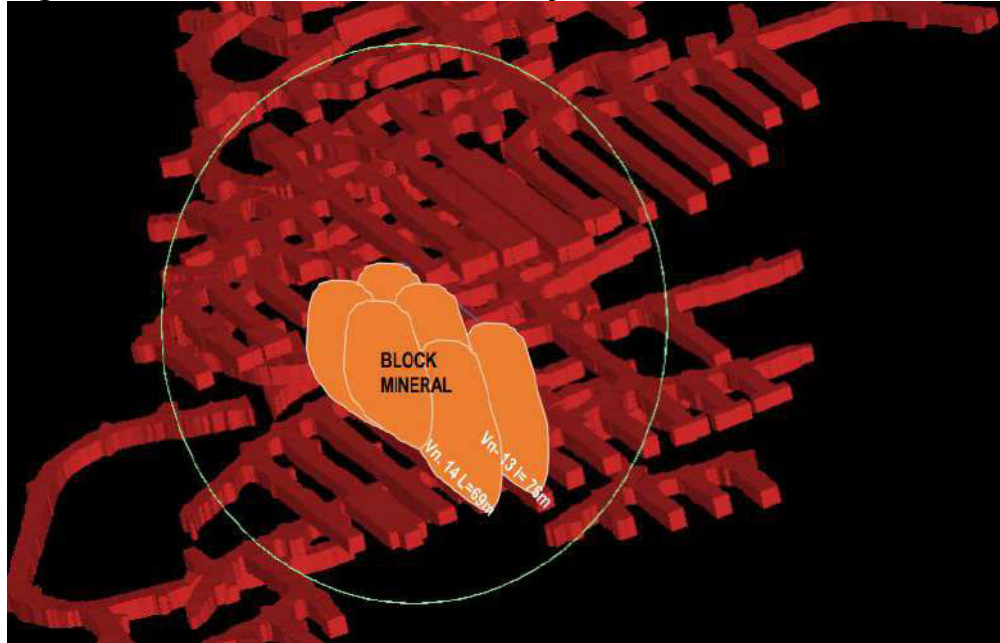
Con el objetivo de continuar con la explotación de la Mina Yauricocha, nos vemos obligados a seguir profundizando y gracias al área de geología con las exploraciones realizadas se logra ubicar el Cuerpo Esperanza que es una estructura mineraliza con mucho potencial para el futuro de Yauricocha y la rentabilidad de la empresa.

Figura 30. Vista 3D - labores de preparación - Cuerpo Esperanza.



Fuente. Elaboración propia.

Figura 31. Valor del mineral - Vn 14 y 13.



Fuente. Elaboración propia.

Según el reporte de geología, la cantidad de mineral influenciado y con riesgos de no recuperar al 100%.

- La ventana 13 tiene un tonelaje de 32,500 con un NSR USD 149.2 por lo tanto, tiene un valor de 4,890k USD.
- La ventana 14 tiene un tonelaje de 32,500 con un NSR USD 128.52 por lo tanto, tiene un valor de 4,176.9k USD.

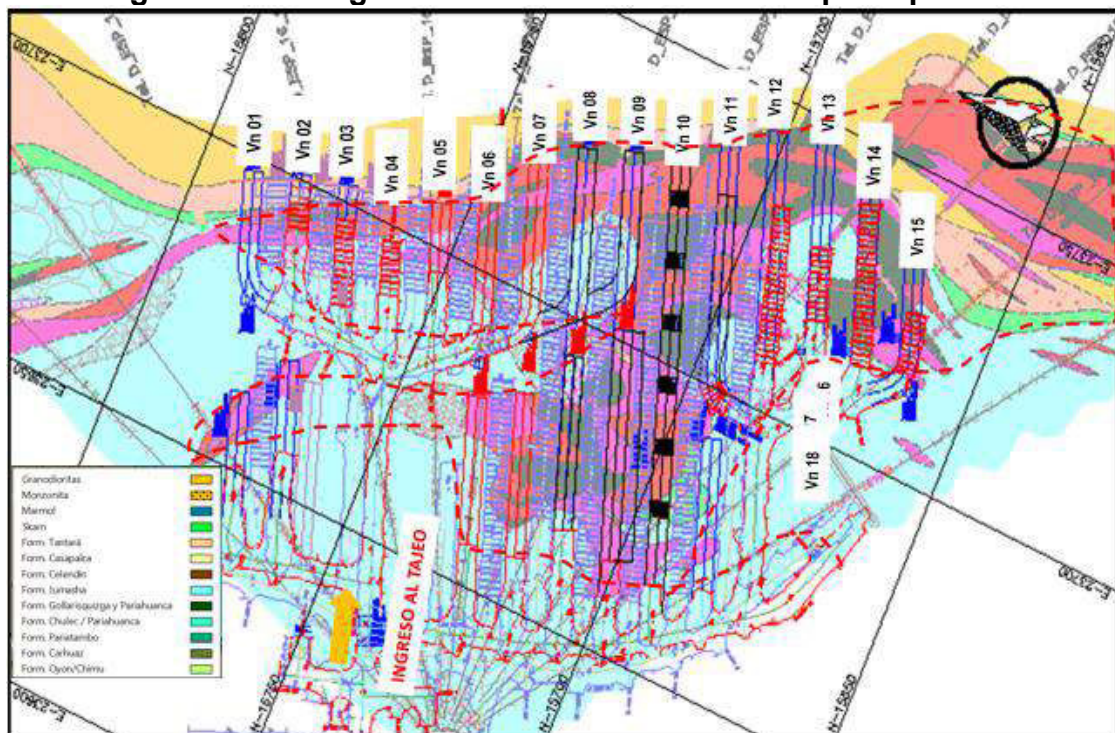
6.1.2. Ubicación

El tajo en explotación 6950 (Tj.6950), se ubica a una profundidad aproximada de 939.55 metros de profundidad en mina Central en el Cuerpo Esperanza.

6.1.3. Litología

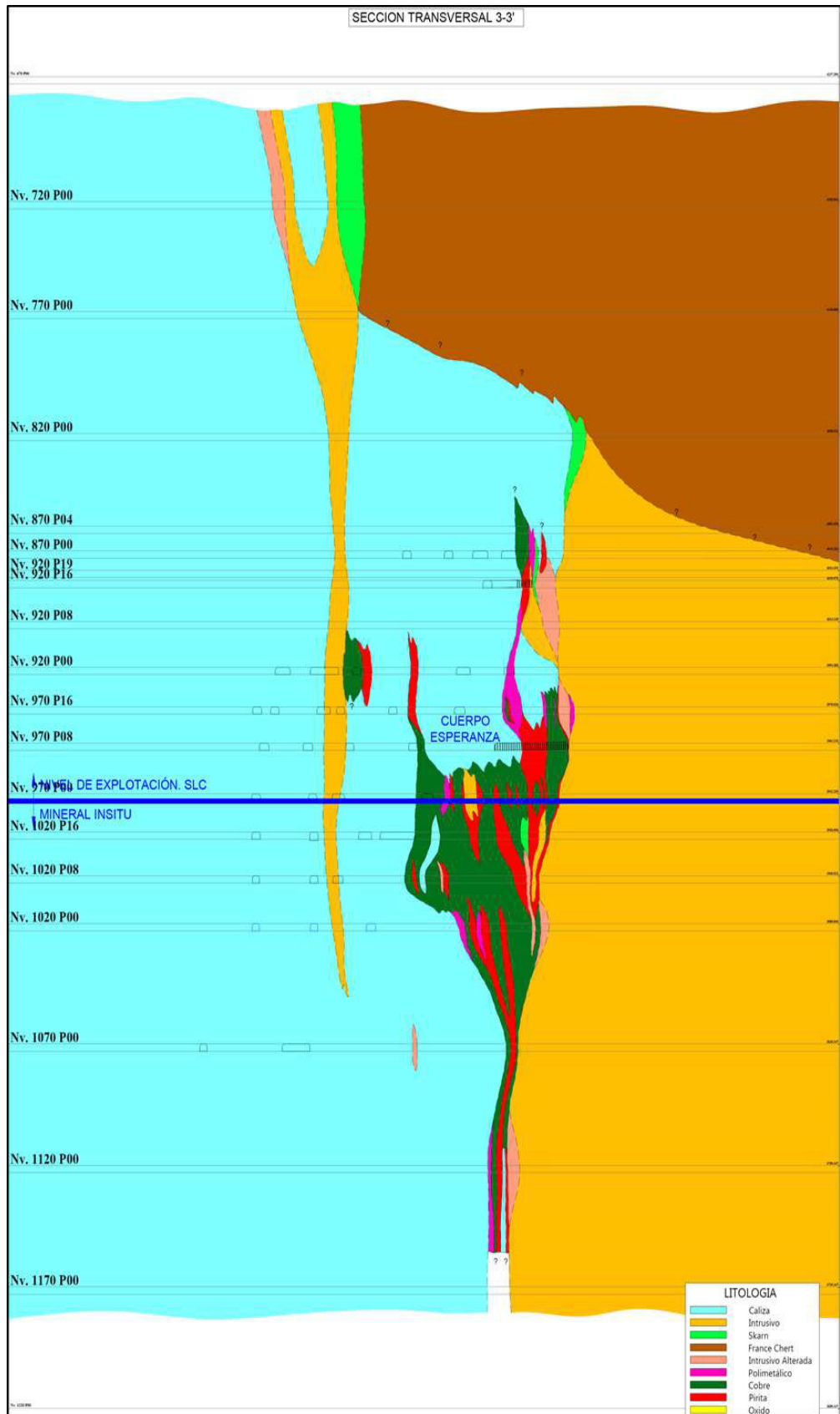
De la información obtenida de registros geológicos, mapeos geotécnicos, sondajes diamantinos existentes y con mapeo geomecánico de campo se define que el cuerpo mineralizado Esperanza y Esperanza Distal tiene una orientación NW-SE, siendo las rocas encajantes hacia el techo roca intrusiva, mientras que hacia el piso caliza y caliza recristalizada y en la zona del cuerpo mineralizado roca alterada y triturada, por el mismo proceso de mineralización.

Figura 32. Litología del Nv.1070 - Piso 05 - Cuerpo Esperanza.



Fuente. Departamento de geología.

Figura 33. Litología Cuerpo Esperanza Nivel 870 – Nv.1170 Piso 0.



Fuente. Departamento de geología.

6.1.4. Investigaciones Geomecánicas Básicas

Con el objetivo de obtener toda la información necesaria para la elaboración del modelo geológico y geomecánico fueron realizados diversos trabajos de campo, recopilación de información, trabajos de gabinete y ensayos de laboratorio.

6.1.5. Caracterización de la Masa Rocosa

Toda la información de campo fue obtenida de trabajos de mapeo geomecánico en interior mina, empleándose para tal fin la metodología de celdas de detalle, las estaciones de mapeo en el área que abarca el presente estudio y tomada información histórica registrada.

6.1.6. Clasificación de la Masa Rocosa

Teniendo en cuenta las unidades geológicas y la zonificación del macizo rocoso en 2D, nos va permitir ver de manera más resumida las características mecánicas y estructurales de la zona, y se validará la información solo con masas rocosas con propiedades que tengan similitud.

De igual manera, esta investigación contiene un registro de datos obtenido en campo con mapeos utilizando el sistema de clasificación geomecánico RMR (Rock Mass Rating) dado por el estudioso Bieniawski (versión 1989).

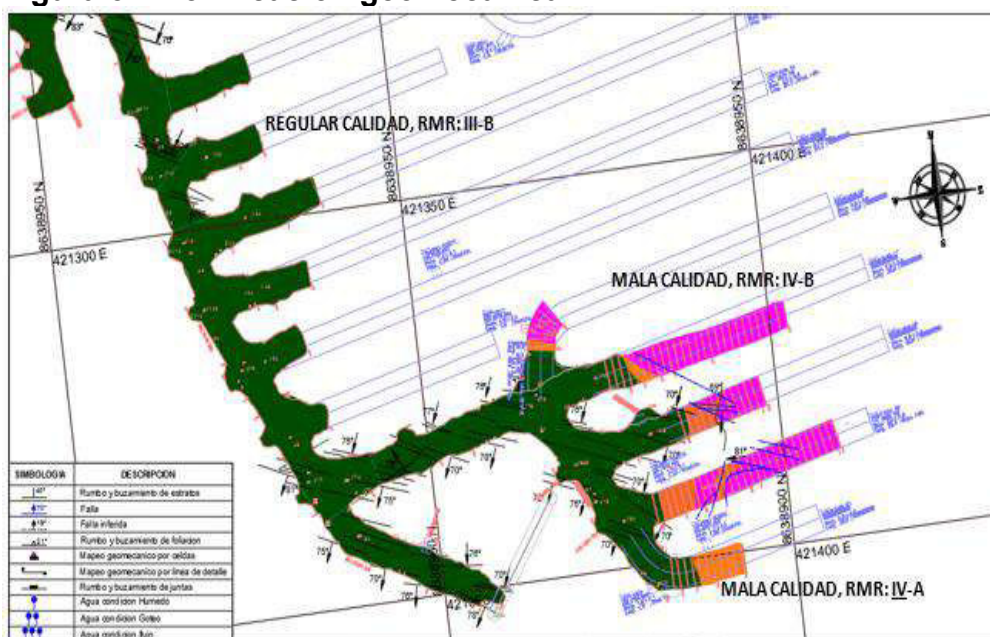
Tomando como base a la data obtenida del campo ha sido asequible precisar 1 dominio geomecánico.

Tabla 4. Calidad del macizo rocoso en las unidades geológicas.

Unidad geológica	Calidad de roca		RMR	Índice Q
Caliza	III-B	Regular	45	1.12
Mineral polimetálico	IV-B	Mala	30	0.21
Intrusivo alterado	IV-B	Mala	25	0.12
Intrusivo	III-A	Regular	52	2.43

Fuente: Elaboración propia.

Figura 34. Zonificación geomecánica.



Fuente. Elaboración propia.

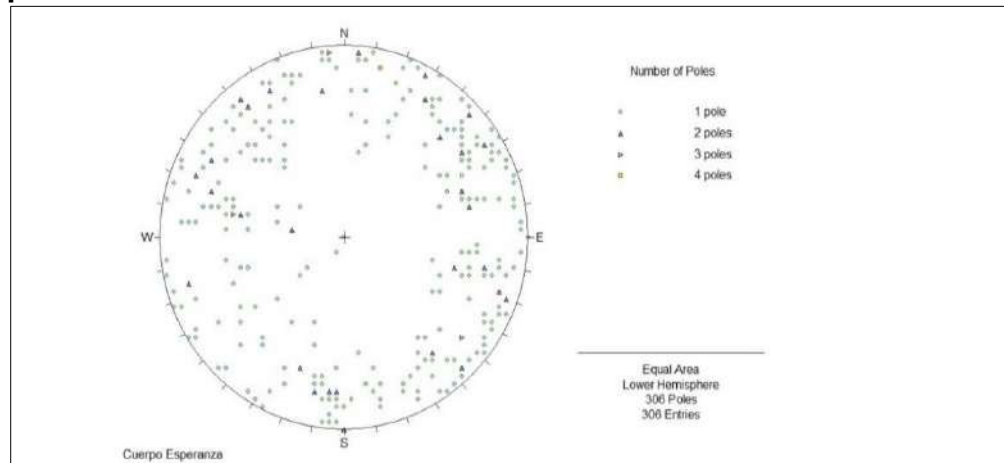
6.1.7. Mapeo Geomecánico distribución de discontinuidades

El análisis y procesamiento de toda la información estructural registrada del área de estudio se realizó empleando la metodología de proyección estereográfica, haciéndose uso para tal fin el programa Dips versión 5.1, programa que pertenece al paquete geomecánico de Rocscience.

Las discontinuidades registradas abarcan en su mayoría diaclasas, fallas, fallas mineralizadas y estratos, la representación

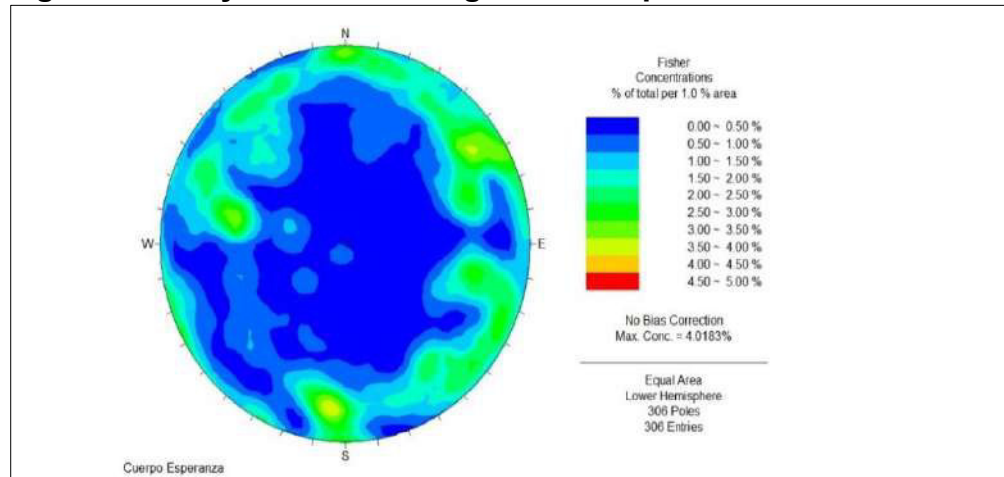
estereográfica de toda esta información son presentadas en las siguientes figuras.

Figura 35. Proyección estereográfica compósito de dispersión de polos.



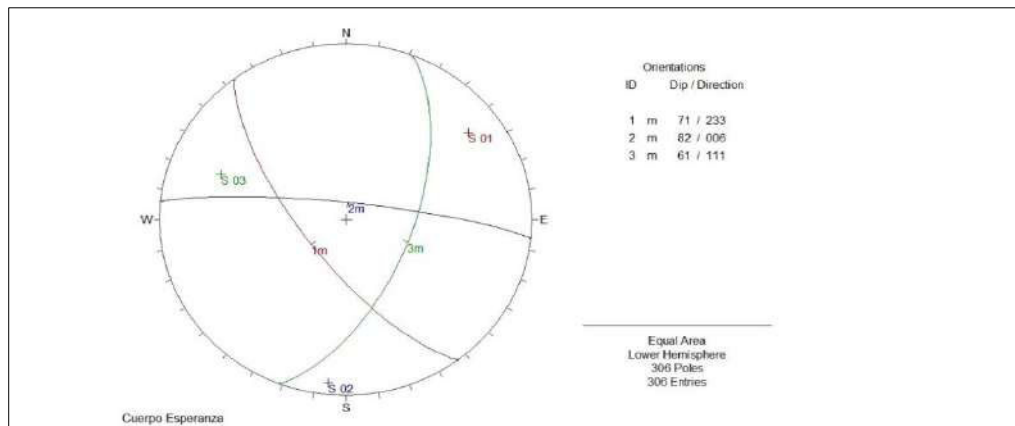
Fuente. Elaboración propia.

Figura 36. Proyección estereográfica compósito de contornos.



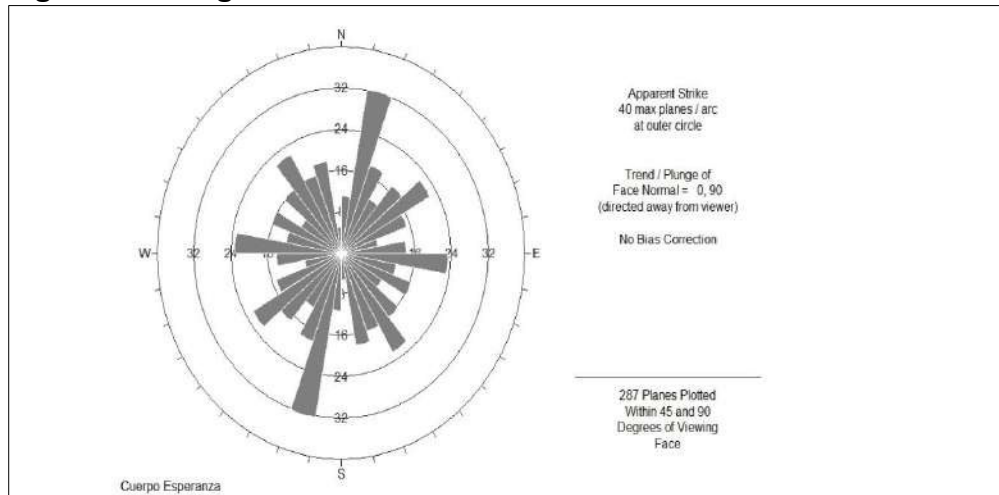
Fuente. Elaboración propia.

Figura 37. Proyección estereográfica compósito de círculos máximos.



Fuente. Elaboración propia.

Figura 38. Diagrama de roseta de dominios estructurales.



Fuente. Elaboración propia.

Por lo tanto, existen 03 familias de discontinuidades estructurales bien definidas.

- Familia 01, set dominante, con dirección de buzamiento 233° y buzamiento 71° ($S23^\circ E/71^\circ SW$), conformado principalmente por diaclasas y fallas.
- Familia 02, sistema con dirección de buzamiento 6° y buzamiento 82° ($S84^\circ E/82^\circ NE$), conformado principalmente por diaclasas y fallas.

- Familia 03, sistema con dirección de buzamiento 111° y buzamiento 61° (N21°E/61°SE), conformado principalmente por diaclasas y fallas.

Toda la información estructural fue obtenida del registro de mapeos estructurales de campo realizados entre marzo del 2019 y febrero del 2020 tomados de laboreo en la caja piso del Cuerpo Esperanza.

Tabla 5. Familia de discontinuidades estructurales.

Familia	Rumbo/buzamiento	Dirección de buzamiento/buzamiento
Familia 01	S23°E/71°SW	233°/71°
Familia 02	S84°E/82°NE	6°/82°
Familia 03	N21°E/61°SE	111°/61°

Fuente. Elaboración propia.

6.1.8. Condición estructural de las discontinuidades

Las propiedades estructurales del macizo rocoso presente en la región bajo la investigación fueron determinadas con los datos recopilados de la actividad minera en curso y futuro. Es importante destacar que, según los registros, los componentes geológicos están relacionados con un grado de fracturamiento constante.

Tabla 6. Condición estructural de las discontinuidades – caja piso.

Parámetro	Dominio estructural			Unidades
	Caliza	Contacto piso	Mineral	
Espaciamiento	<0.06	<0.06	<0.06	m
Persistencia	3 - 10 m	3 - 10 m	10 - 20 m	m
Apertura	0.1 - 1.0 mm	<0.1 mm	<0.1 mm	mm
Rugosidad	Lig. Rugosa	Suave	Suave	-
Relleno	Duro >5 mm	Suave <5 mm	Suave >5 mm	-
Alteración	Mod. Alterada	Muy alterada	Muy alterada	-
Condiciones de agua	Húmedo	Húmedo	Húmedo	-

Fuente. Elaboración propia.

Tabla 7. Condición estructural de las discontinuidades – caja

techo.

Parámetro	Dominio estructural		Unidades
	Contacto techo	Intrusivo	
Espaciamiento	<0.06	0.06 a 0.2	m
Persistencia	10 - 20 m	3 - 10 m	m
Apertura	1 - 5 mm	1 - 5 mm	mm
Rugosidad	Suave	Lig. Rugosa	-
Relleno	Suave >5 mm	Suave >5 mm	-
Alteración	Muy alterada	Muy alterada	-
Condiciones de agua	Goteo	Goteo	-

Fuente. Elaboración propia.

6.1.9. Clasificación de la Masa Rocosa

Para categorizar el macizo rocoso, se han aplicado los criterios de clasificación elaborados por Bieniawski (Rock Mass Rating - RMR versión 1989).

Además de los criterios mencionados y como parámetro dentro del cálculo de ambos, fue estimado el valor de calidad de roca RQD empleándose la relación propuesta por Priest & Hudson, necesitándose únicamente el registro lineal de todas las discontinuidades presentes.

Los resultados de la clasificación del macizo rocoso con ayuda de la mecánica de rocas que se aplica a los distintos dominios estructurales en la región de investigación se presentan de manera concisa en la tabla siguiente.

Tabla 8. Clasificación geomecánica de la masa rocosa.

Dominio estructural	Rango RMR	Promedio RMR	Promedio Índice Q
Caliza	42 - 47	44.5	1.06
Contacto piso	32 - 39	35.5	0.39
Mineral	23 - 26	24.5	0.11
Contacto techo	19 - 22	20.5	0.07
Intrusivo	39 - 44	41.5	0.76

Fuente. Elaboración propia.

Todo criterio de diseño aplicado en el presente trabajo de investigación se basa en una adecuada delimitación del macizo rocoso de acuerdo con la similitud en sus diversas características y propiedades, para lo cual se ha tomado en consideración lo siguiente:

- Litología.
- Calidad de la masa rocosa.
- Características de las discontinuidades.

En base a la información recopilada para la presente investigación se han establecido 5 dominios estructurales los cuales son resumidos en el siguiente cuadro.

Tabla 9. Zonificación geomecánica – Rock Mass Rating (RMR)

Dominio estructural	Promedio RMR	Clase de roca	Calidad de masa rocosa
Caliza	44.5	III-B	Regular
Contacto piso	35.5	IV-A	Mala A
Mineral	24.5	IV-B	Mala B
Contacto techo	20.5	IV-B	Mala B
Intrusivo	41.5	III-B	Regular

Fuente. Elaboración propia.

6.1.10. Propiedades de la Roca

➤ Resistencia compresiva de la roca intacta

La resistencia compresiva de la roca intacta (σ_c) de cada dominio estructural fue obtenida siguiendo los siguientes procedimientos:

- Ensayos de campo.
- Ensayos de laboratorio.

Ensayos de campo: Dentro del área de estudio se realizó una campaña específica empleando el martillo Shmidt de dureza, todas las pruebas fueron llevadas a cabo siguiendo los estándares especificados por la ISRM. La resistencia compresiva media de cada dominio estructural es resumida en la siguiente tabla.

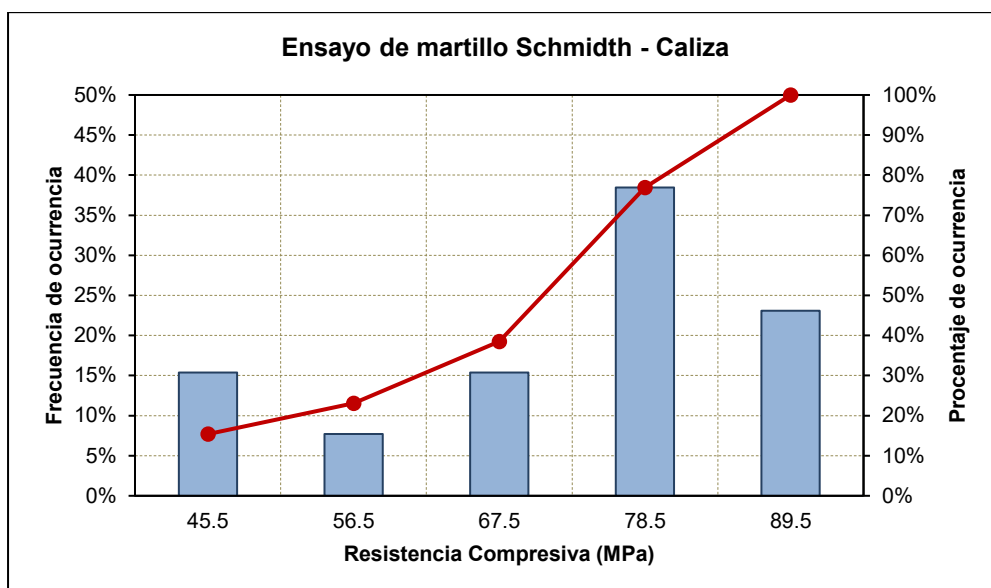
Tabla 10. Resistencia compresiva (σ_c): ensayo de Martillo Schmidt en Caliza.

Medición	Resistencia (Mpa)	Nivel	Piso
01	80	920	0

02	85	970	8
03	65	970	8
04	95	1020	16
05	50	1020	16
06	73	1020	16
07	75	1020	8
08	85	1020	8
09	80	1070	11
10	60	1070	11
11	40	1070	11
12	80	1070	5
13	65	1070	5

Fuente. Elaboración propia.

Figura 39. Ensayo de resistencia con el martillo Schmidt – caliza.



Fuente. Elaboración propia.

➤ Ensayos de laboratorio

Muestras de rocas representativas fueron enviados a diferentes laboratorios certificados, muestras a las que se les realizó el ensayo de compresión simple, todos los ensayos fueron realizados siguiendo los procedimientos y estándares establecidos en las normas ASTM.

Tabla 11. Ensayo de resistencia compresiva no confinada (σ_c).

Dominio estructural	Resistencia compresiva no confinada (MPa)
Caliza	65
Contacto piso	40
Mineral	20
Contacto techo	40

Intrusivo	120
-----------	-----

Fuente. Elaboración propia.

6.1.11. Propiedades físicas, elásticas y mecánicas de la roca intacta

Con el objetivo de conocer las propiedades físicas de cada dominio estructural, se enviaron muestras de roca al laboratorio, a las cuales se les realizó el ensayo de propiedades físicas, de constantes elásticas, de corte directo y de resistencia a la compresión triaxial, todos los ensayos fueron realizados siguiendo los procedimientos y estándares establecidos en las normas ASTM.

La densidad obtenida para la caliza se encuentra en el rango de 2.60 a 2.73 t/m³, intrusivo de 2.55 a 2.84 t/m³, mineral de 3.88 a 4.1 t/m³.

Tabla 12. Ensayo de propiedades físicas.

Dominio estructural	Densidad (g/cc)		Porosidad aparente (%)	Peso específico aparente (KN/m ³)
	Seca	Húmeda		
Caliza	2.64	2.65	1.00	25.90
Contacto piso	2.70	2.71	1.83	26.49
Mineral	4.05	4.10	5.24	39.73
Contacto techo	2.61	2.64	2.82	25.60
Intrusivo	2.66	2.67	1.36	26.09

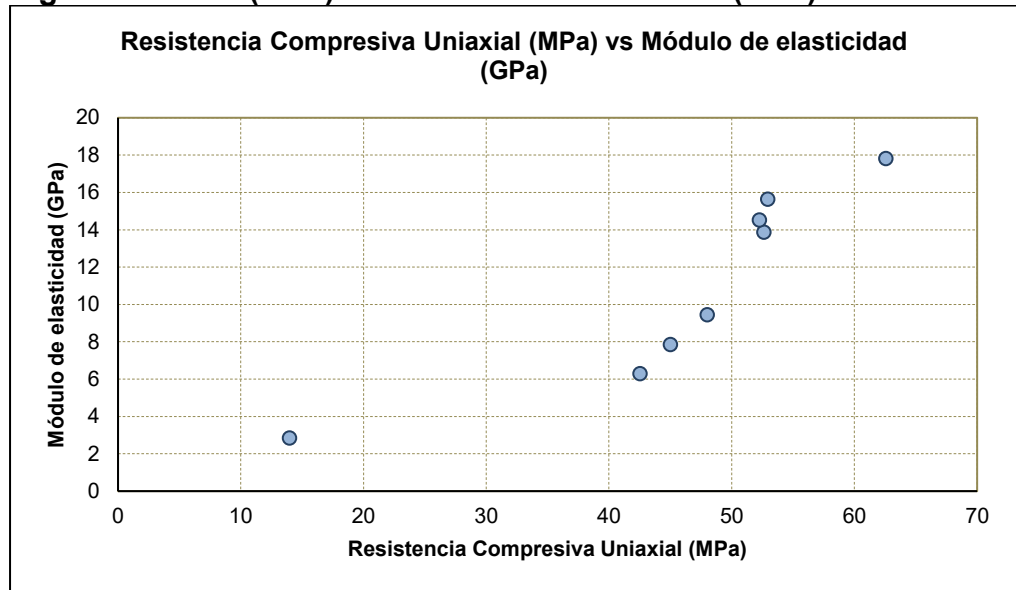
Fuente. Elaboración propia.

Tabla 13. Ensayo de constantes elásticas.

Dominio estructural	Módulo de elasticidad (GPa)	Constante de Poisson
Caliza	12.0	0.25
Contacto piso	10.0	0.30
Mineral	2.8	0.36
Contacto techo	10.0	0.30
Intrusivo	16.0	0.25

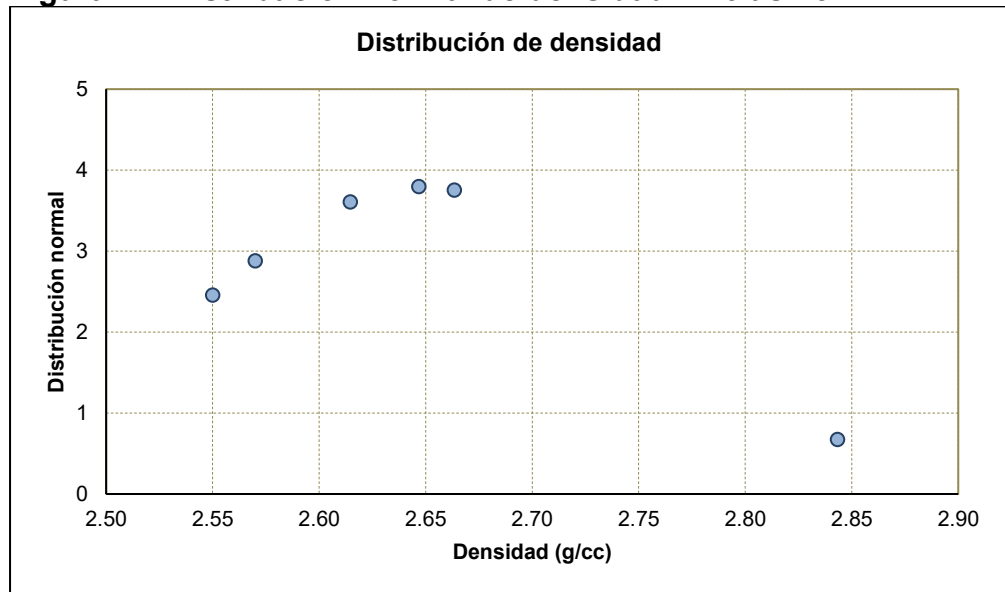
Fuente. Elaboración propia.

Figura 40. RCU (MPa) vs Módulo de elasticidad (GPa) - Caliza.

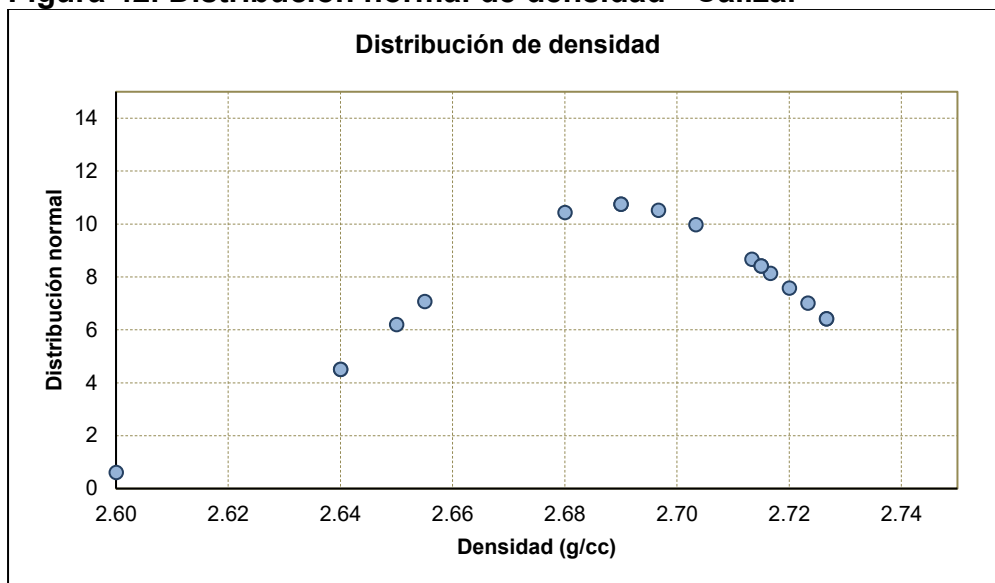


Fuente. Elaboración propia.

Figura 41. Distribución normal de densidad - Intrusivo.



Fuente. Elaboración propia.

Figura 42. Distribución normal de densidad - Caliza.

Fuente. Elaboración propia.

La constante de roca m_i es obtenida del ensayo de triaxial, su valor es fundamental para la aplicación del criterio de falla de Hoek y Brown, el cual es empleado en el análisis de estabilidad de las excavaciones. Los valores obtenidos de la constante “ m_i ” son detallados en la siguiente tabla.

Tabla 14. Constante m_i de la roca intacta - criterio de falla de Hoek & Brown.

Dominio estructural	Constante m_i Hoek y Brown
Caliza	10.5
Contacto piso	8.0
Mineral	19.0
Contacto techo	25.0
Intrusivo	30.0

Fuente. Elaboración propia.

6.1.12. Unidades geotécnicas

Con el objetivo de simplificar los modelos empleados en el análisis de estabilidad de las excavaciones han sido definidas diferentes unidades geotécnicas, para lo cual se han sido considerados los diferentes dominios estructurales existentes, en el siguiente cuadro se presenta el resumen de las diferentes unidades geotécnicas.

Tabla 15. Unidades geotécnicas del cuerpo Esperanza.

Dominio estructural	Codificación: Unidades geotécnicas
Caliza	UG-01
Contacto piso	UG-02
Mineral	UG-03
Contacto techo	UG-04
Intrusivo	UG-05

Fuente. Elaboración propia.

6.1.13. Parámetros de resistencia de la masa rocosa

Tomando como información base el registro de los resultados de los ensayos de laboratorio y haciendo uso del programa Rocdata versión 4.0, ha sido posible estimar las propiedades de la masa rocosa, empleándose para tal fin el criterio de falla generalizado de Hoek y Brown (2002, 2006).

Los datos de ingreso al programa fueron:

- Resistencia compresiva uniaxial de la masa rocosa (σ_c).
- Calidad de la masa rocosa.
- Constante m_i de la roca intacta.
- Peso específico de la roca intacta.
- Factor de disturbancia de la voladura.
- Profundidad a la que se ubica la excavación.

Las propiedades de resistencia correspondientes de los diferentes dominios estructurales presentes en el cuerpo Esperanza, se resumen en las siguientes tablas.

6.1.14. Parámetros de resistencia de la masa rocosa

Tabla 16. Parámetros de resistencia de la masa rocosa.

Descripción de la propiedad	Unidad geotécnica					Unid.
	UG-01	UG-02	UG-03	UG-04	UG-05	
RMR (1989)	44	35	25	21	42	-
Índice Q (1974)	1.69	0.61	0.19	0.12	1.35	-
GSI	44	35	25	21	42	-
RCU (σ_c)	65	40	20	40	120	MPa
Densidad (d)	2.7	2.65	3.5	2.6	2.65	t/m ³
Peso específico (PE)	0.026	0.026	0.034	0.025	0.026	MN/m ³
Módulo de elasticidad (Ei)	12	10	2.8	10	16	GPa
	12000	10000	2800	10000	16000	MPa
Constante de poisson (μ)	0.25	0.3	0.36	0.3	0.25	-
Constante mi de la roca intacta	10.5	8	19	25	30	-
Factor de disturbancia de la voladura	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	-
Constante mb de la masa rocosa	1.14	0.61	0.97	1.09	3.00	-
Constante S de la masa rocosa	0.0013	0.0004	0.0001	0.0001	0.0010	-
Constante a de la masa rocosa	0.51	0.52	0.53	0.54	0.51	-
Módulo de deformación (Em)	7.08	4.22	2.37	1.88	7.31	GPa
Resistencia Compresiva Uniaxial (σ_{cm})	6.30	2.67	0.88	1.49	10.71	MPa

Fuente. Elaboración propia.

Para un mayor detalle de las propiedades de la roca intacta ver el Anexo 3 - Ensayos de laboratorio.

6.1.15. Esfuerzos Insitu

Los valores de esfuerzo en el lugar de estudio se obtuvieron mediante el enfoque de carga litostática, en el cual el esfuerzo vertical " σ_v " se calcula considerando el peso por unidad de volumen de la roca sobrepuesta " γ " y la profundidad " z " desde la superficie.

El esfuerzo horizontal " σ_h " se calcula multiplicando el esfuerzo vertical " σ_v " por una constante " k " determinada según el criterio establecido por Sheorey, (1994).

$$\sigma_h = k * \sigma_v$$

Donde:

σ_h : Esfuerzo horizontal (MPa).

k: Constante de Sheorey (1994).

σ_v : Esfuerzo vertical (MPa).

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

Donde:

E_h : Módulo de deformación horizontal (GPa).

k: Constante de Sheorey.

z: Profundidad.

Tabla 17. Esfuerzos insitu.

Parámetro	Símbolo	Magnitud	Unidades
Cota de superficie	C. Sup.	4700	msnm
Cota media de la excavación	C. Excav.	4820	msnm
Profundidad de la excavación	Prof.	880	m
Densidad de la roca	δ	2.65	t/m ³
Módulo de deformación	E_m	7.30	GPa
Esfuerzo vertical	σ_v	22.0	MPa
Constante	k	0.4	-
Esfuerzo horizontal	σ_h	8.2	MPa

Fuente. Elaboración propia.

6.1.16. Condiciones de agua subterránea

La existencia de agua en la masa de roca tiene un impacto desfavorable en las condiciones de estabilidad de las construcciones subterráneas. Su efecto principal es la presión que ejerce sobre las fracturas estructurales, lo que reduce la resistencia al corte y contribuye a la inestabilidad en las actividades subterráneas.

En la caja techo se evidencia la presencia de agua por filtración a través de discontinuidades los cuales han sido influyentes en el incremento de carga húmeda de las ventanas de explotación en las zonas actuales de explotación nivel 1070, piso 11 y piso 5, es debido a

esto que se ha venido presentando empujes de carga en el nivel 1070 piso 5.

Tomando en cuenta la información recopilada es que puede establecerse que las condiciones de agua son las siguientes:

Tabla 18. Condiciones de agua subterránea.

Unidad geotécnica	Condición de agua subterránea
UG-01	Seco a húmedo
UG-02	Goteo
UG-03	Goteo a flujo
UG-04	Goteo a flujo
UG-05	Goteo

Fuente. Elaboración propia.

Debe de mencionarse que en los últimos 8 meses la cantidad de agua presente en las operaciones mineras del cuerpo Esperanza se ha incrementado generando condiciones de inestabilidad en el minado del nivel 1070 piso 11 y piso 05.

6.1.17. Aplicación del Minado por el Método de Hundimiento por Subniveles

➤ Metodología

El método de Hundimiento por Subniveles aprovecha la mala calidad asociada del cuerpo mineralizado, para su aplicación se ejecutan cruceros o ventanas de explotación a través del cuerpo mineralizado fuertemente fortificadas (uso de cimbras H6, 20 lb/pie) con una sección de 3.5m x 3.5m y separadas entre sí 5.5 m.

La explotación se realiza en retirada desde los extremos (norte y sur) hacia el centro del cuerpo mineralizado y en retirada en una misma ventana.

La aplicación de este método cumple ciertas condiciones, las cuales son:

- Cuerpos verticales y masivos.
- Minerales de baja resistencia, quebradizos y bien estratificados.

- Límites regulares del yacimiento.
- Terreno superficial donde puedan permitirse desplazamientos y desplomes, sin crear problemas de seguridad para infraestructuras y personal graves.
- Debido a la pérdida de mineral (alta dilución) este método es aplicable a minerales de valor medio.
- El yacimiento debe tener una gran potencia y poseer una gran extensión horizontal.
- El laboreo de desarrollo y preparación deben estar asociados a un macizo rocoso de calidad Regular (RMR III-B).

Entre las principales características en la aplicación de este método se encuentran los siguientes:

- El método es descendente y facilita la entrada en producción.
- Es flexible al poder adaptarse a la geometría del cuerpo mineralizado.
- Se puede alcanzar una dilución de hasta el 15%.
- Permite el avance de laboreo de desarrollo y preparación en diferentes niveles.
- La fortificación o sostenimiento aplicado en las ventanas es pesado.
- La recuperación puede alcanzar hasta el 75%.

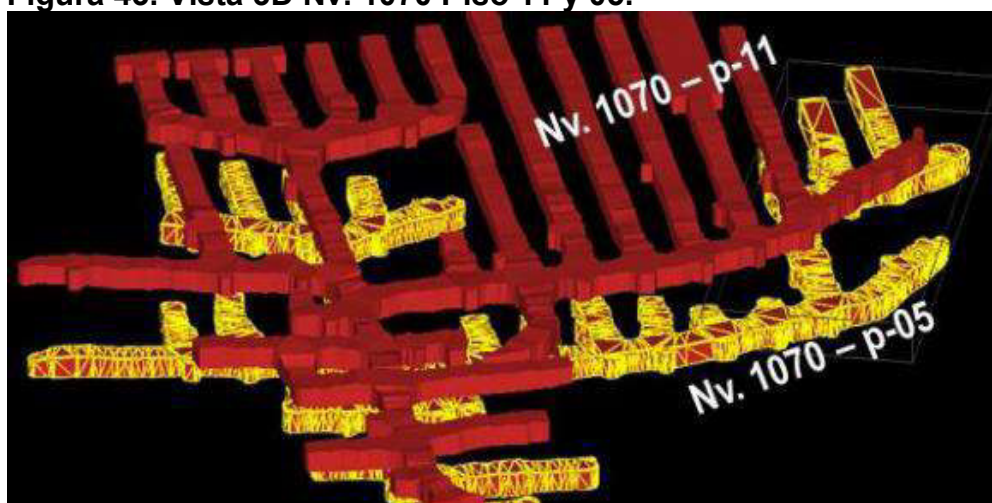
6.1.18. Análisis de estabilidad controlada por estructuras labores de preparación

Basándose en la configuración estructural de la masa de roca, las dimensiones de la excavación y su orientación, se ha realizado un

análisis de estabilidad utilizando herramientas computacionales. Mediante el software Unwedge versión 6.0 de Rocscience Inc. (2007), se ha calculado la estabilidad de las cuñas formadas en los alrededores de la excavación.

Este programa ha permitido obtener una evaluación exhaustiva de todas las cuñas que podrían afectar la estabilidad en el diseño de la excavación. Las dimensiones y orientación de las labores de preparación cumplen con los siguientes parámetros de diseño.

Figura 43. Vista 3D Nv. 1070 Piso 11 y 05.



Fuente. Elaboración propia.

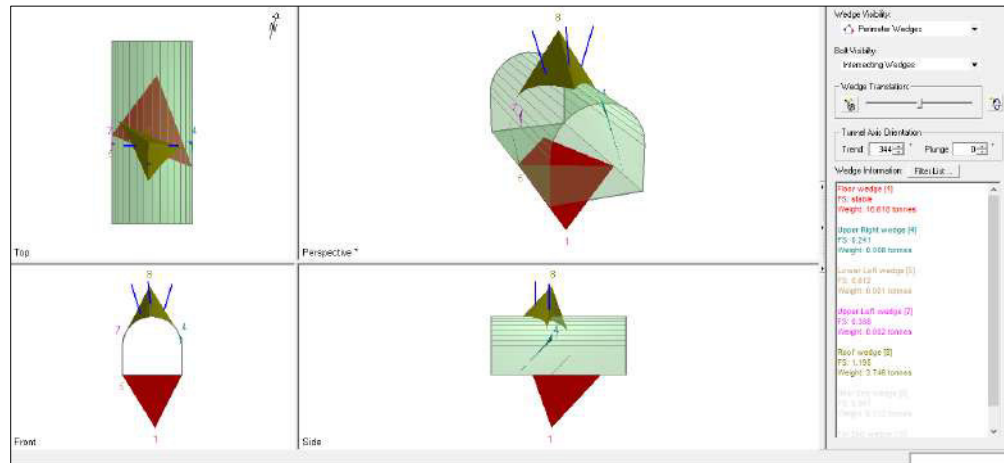
Tabla 19. Parámetros de diseño de las labores.

Labores	Dimensiones		Orientación
	Ancho (m)	Alto (m)	
Subniveles	3.5	3.5	344°
Ventanas	3.5	3.5	77°

Fuente. Elaboración propia.

El gráfico a continuación presenta las cuñas más relevantes localizadas en las excavaciones mineras diseñadas:

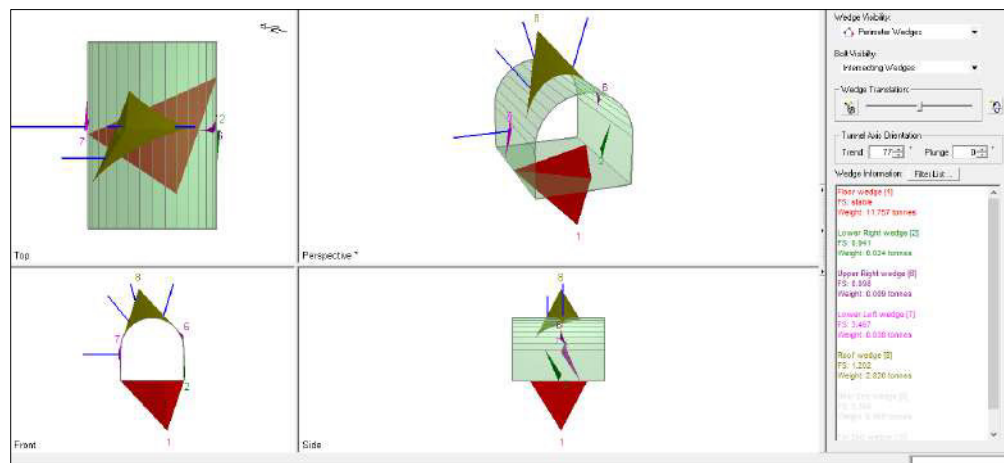
Figura 44. Estabilidad controlada por estructuras - subniveles.



Fuente. Elaboración propia.

Nota: Las estructuras de discontinuidad que se forman alrededor de las excavaciones crean cuñas inestables en la parte superior (corona) con un factor de seguridad (FS) de 0.0 a 0.24, los cuales pueden ser controlados con desatado de rocas y al ser aplicado el sostenimiento: Malla electrosoldada + Pernos Splitset 7 pies, $FS > 1.2$.

Figura 45. Estabilidad controlada por estructuras - ventanas.



Fuente. Elaboración propia.

Nota: Los sistemas de discontinuidades formadas entorno a las excavaciones generan cuñas inestables en la corona con un factor de seguridad (FS) de 0.0 a 0.09, los cuales pueden ser controlados con

desatado de rocas y al ser aplicado el sostenimiento: Malla electrosoldada + Pernos Splitset 7 pies, $FS > 1.2$.

En el análisis de estabilidad controlado por estructuras de las labores de preparación: subniveles y ventanas, las cuales convergen en factores de seguridad (FS) favorables, $FS > 1.2$, lo cual indica que el sostenimiento aplicado es el más adecuado.

En tramos donde el laboreo se encuentra asociado a un macizo rocoso de calidad Mala (RMR IV-A) el área de geomecánica realizará la evaluación del sostenimiento que mejor se adecúe al laboreo, considerándose los estándares y procedimientos que se aplican en la unidad.

Tabla 20. Factor de seguridad – Estabilidad controlada por estructuras. Fuente. Elaboración propia.

Labores	Factores de seguridad	Tipo	Condición
Subniveles	> 1.2	Temporal	Estable
Ventanas	> 1.2	Temporal	Estable

Fuente. Elaboración propia.

6.1.19. Diseño de pilar de seguridad: Caja piso - mineral

Las labores de preparación para el minado del cuerpo esperanza, subniveles, estocadas, chimeneas y cruceros se encuentran asociadas a un macizo rocoso de calidad Regular, RMR de 36 a 40.

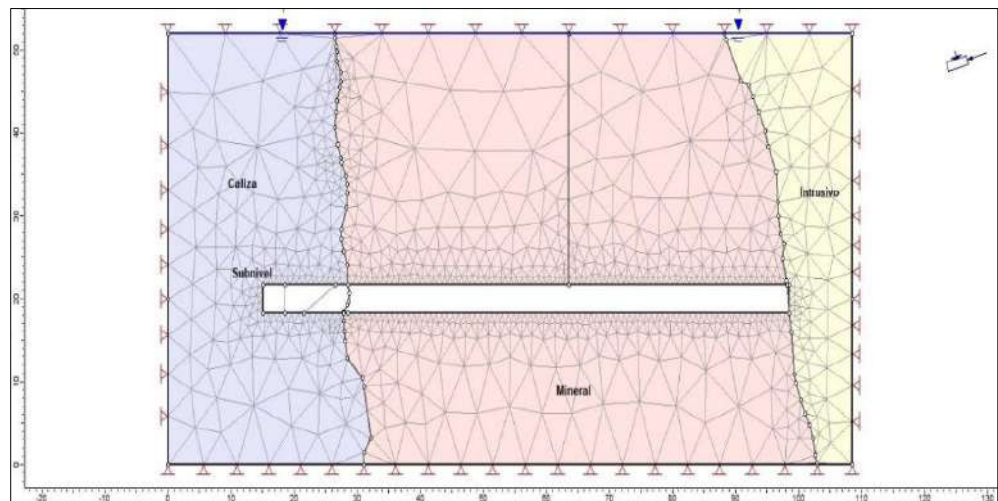
Con el fin de asegurar la estabilidad local y global de todas las labores aledañas al cuerpo durante el minado se debe, explotación de las ventanas, se debe realizar un adecuado dimensionamiento de los pilares de seguridad.

Para tal fin se ha hecho uso de la herramienta de cómputo Phase2, versión 8 del paquete de Rocscience, siendo discutidos los resultados a continuación.

6.1.20. Modelo de análisis bidimensional - Diseño de pilares de seguridad

El modelo de análisis bidimensional emplea la metodología de elementos finitos (MEF) basado en el comportamiento de post-rotura de los materiales de tipo elasto-plástico en un estado bidimensional.

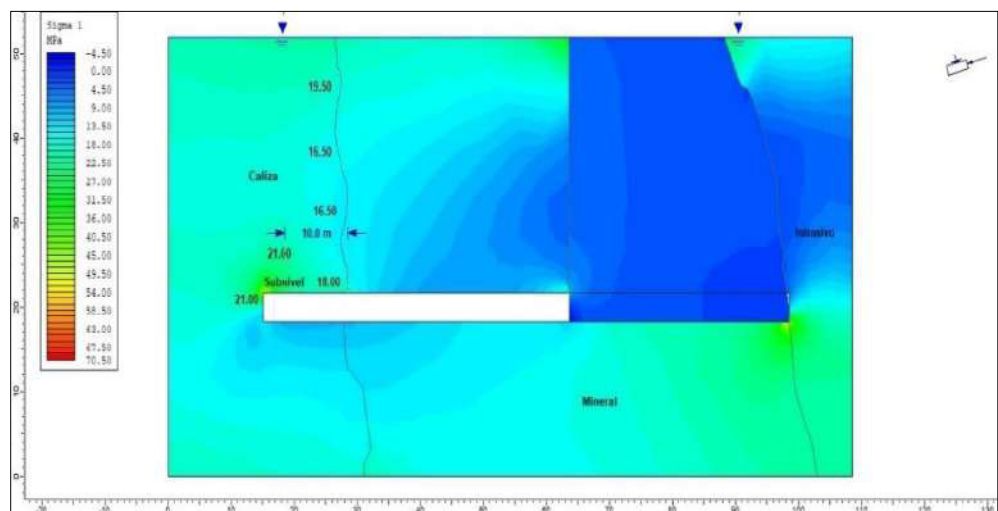
Figura 46. Modelo de análisis bidimensional - diseño del pilar de seguridad.



Fuente. Elaboración propia.

Nota: El modelo numérico generado considera la presencia de agua entorno a la zona de explotación simulada

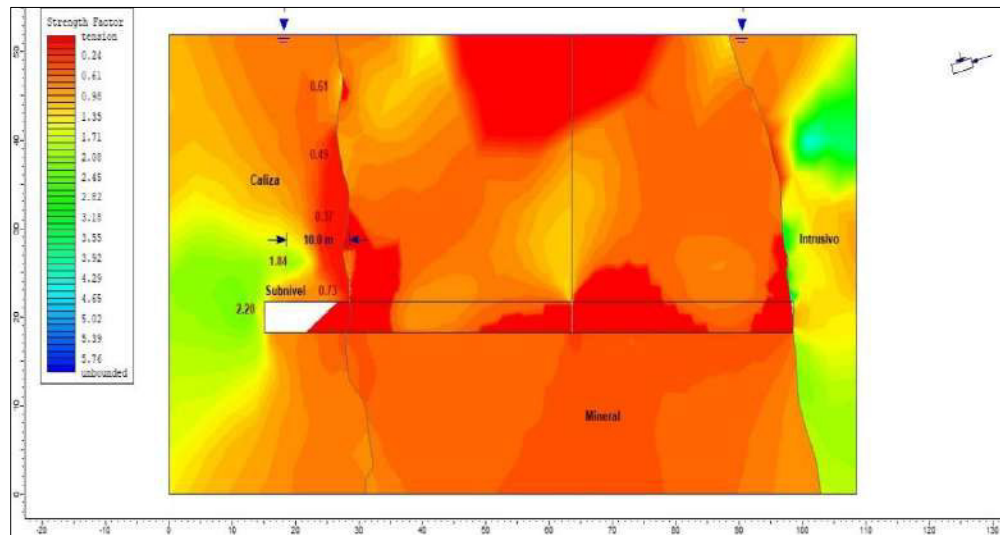
Figura 47. Campo de tensiones – Diseño del pilar de seguridad.



Fuente. Elaboración propia.

Nota: La simulación efectuada nos permite conocer las condiciones de los esfuerzos principales entorno al subnivel una vez haya culminado el minado del tajo, indicándonos que entorno al laboreo cercano se produce un relajamiento de esfuerzo lo que generará una desestabilización local.

Figura 48. Factor de seguridad – Diseño del pilar de seguridad.



Fuente. Elaboración propia.

Nota: La simulación efectuada nos permite conocer las condiciones de estabilidad del pilar y su influencia en el subnivel durante el minado el tajo, las cuales convergen en factores de seguridad (FS) favorables respecto a la sección mostrada $FS > 1.2$ con un ancho de plastificación de la roca entorno a la excavación de 1.8 metros.

Tomando como base que el modelo fue elaborado para un macizo rocoso de calidad regular, RMR III-B, el ancho mínimo del pilar de seguridad entre el subnivel de preparación y el contacto desmonte-mineral deberá tener un ancho no menor a los 10.0 metros.

Al culminar el minado de la ventana se observa un relajamiento entorno al contacto caliza – mineral lo cual converge en factores de seguridad (FS) desfavorables $FS < 1.0$ por lo cual se debe asegurar el bloqueo al ingreso de cada ventana ya minada.

En macizos rocosos asociados a otras calidades diferentes a las analizadas en la presente investigación, el departamento de geomecánica deberá realizar un análisis más detallado con el fin de determinar el ancho del pilar de seguridad.

6.1.21. Diseño de sostenimiento con cimbras en las ventanas de explotación

Como ha sido mencionado en capítulos anteriores todas las ventanas de explotación por minado de Hundimiento por Subniveles se encuentran fuertemente fortificadas, haciendo para ello uso de cimbras metálicas, alma tipo H de 6" x 6" y 20 lb/pie.

Como parte del diseño de sostenimiento el departamento de geomecánica ha empleado la metodología de Cemal Biron.

La metodología desarrollada por Cemal Biron es mucho más analítica y detallada que las desarrolladas por Terzaghi y Protodyakonov pues toma en consideración el perfil de la viga y su resistencia, para el cálculo de la carga que debe soportar la cimbra se usa la fórmula de Everling.

Tabla 21. Diseño de sostenimiento con cimbras en mineral.

Parámetro	Magnitud
Carga uniforme distribuida en la corona (qt):	10.50 t/m
Reacciones de los lados en toneladas (Ay):	2.83 t
Momento máximo (Mmáx)	-5.34 t/m
Fuerza normal máxima (Nmáx)	-18.38 t
Ángulo de momento y fuerza normal máxima ($\beta_{máx}$):	8.9°
Factor de seguridad (FS):	1.66

Fuente. Elaboración propia.

Tabla 22. Diseño de sostenimiento con cimbras en estéril.

Parámetro	Magnitud
Carga uniforme distribuida en la corona (qt):	10.02 t/m
Reacciones de los lados en toneladas (Ay):	2.70 t
Momento máximo (Mmáx)	-5.10 t/m
Fuerza normal máxima (Nmáx)	-17.53 t
Ángulo de momento y fuerza normal máxima ($\beta_{máx}$):	8.9°
Factor de seguridad (FS):	1.75

Fuente. Elaboración propia.

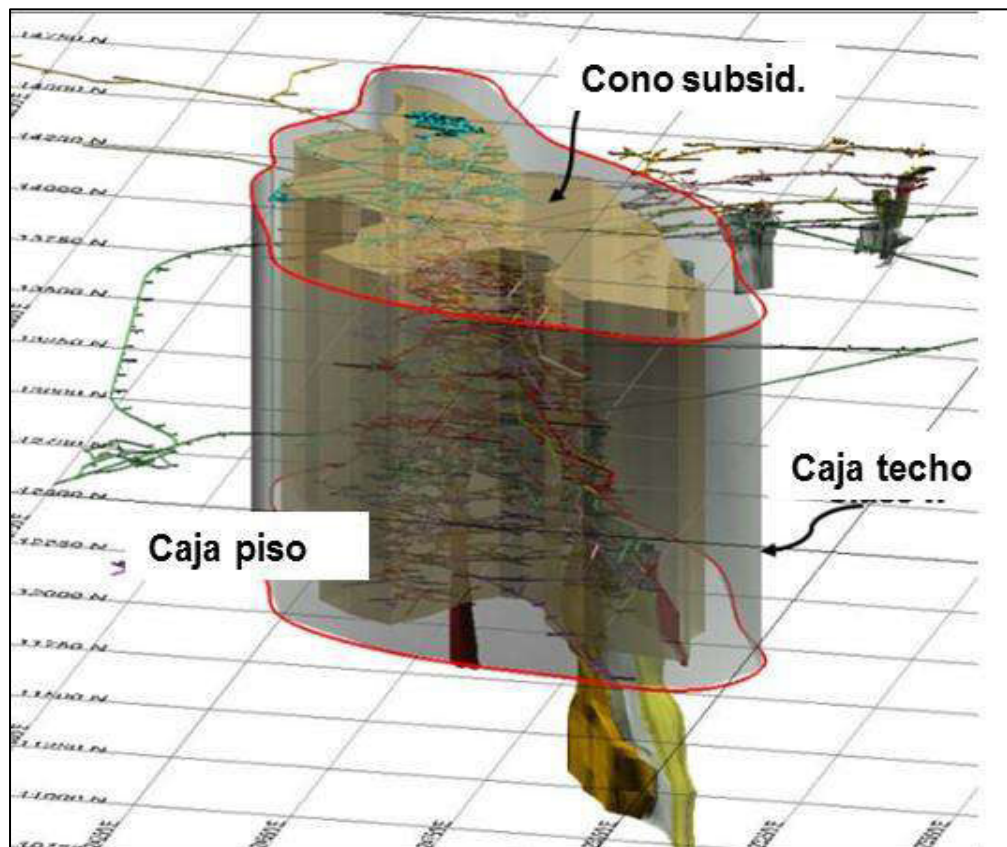
6.1.22. Análisis de Estabilidad de la Excavación

➤ **Análisis de Estabilidad Controlada por Esfuerzos**

En el modelo de análisis de estabilidad controlada por esfuerzos se ha empleado la metodología de elementos finitos basado en el comportamiento post-rotura de los materiales de tipo elasto-plástico en un estado bidimensional.

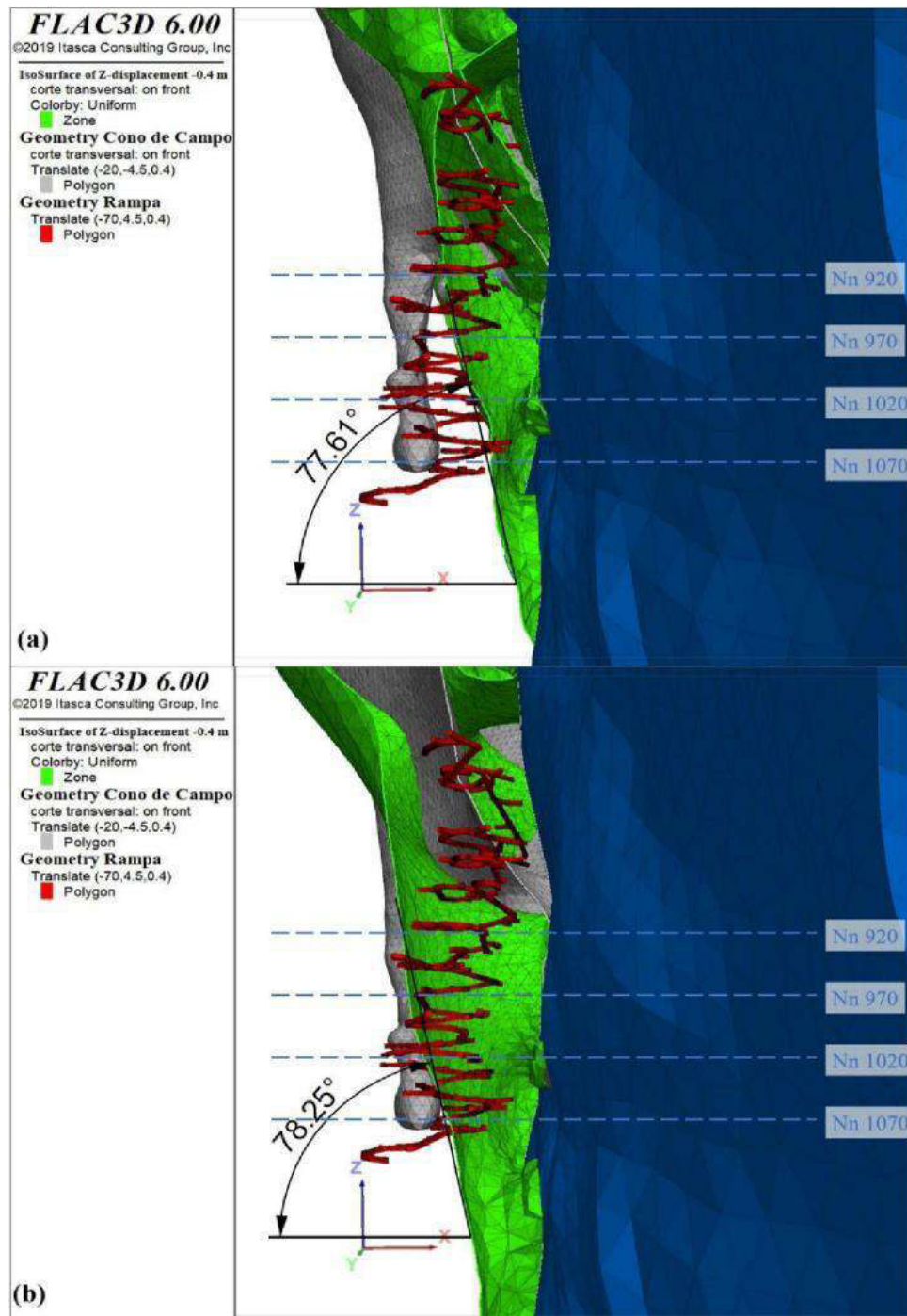
Se utilizó el programa Phase2 versión 8.0 desarrollado por Rocscience Inc. (2008) como herramienta de cálculo. Este programa nos proporciona resultados en cuanto a los esfuerzos presentes y los desplazamientos generados alrededor de las excavaciones simuladas.

Figura 49. Modelo tridimensional del minado – Mina Yauricocha.



Fuente. Elaboración propia.

Figura 50. Extracto del minado Sub Level Caving.



Fuente. DCR Ingenieros – 2019.

“Actualización del CONO de subsidencia – ángulo de quiebre y modelo matemático para alejar las excavaciones principales (Rampas, Cx, Etc.)”.

Figura 51. Cálculo de distancia mínima para el Cx 5000-N.

FS	1.5	altura
Altura de minado	1070 - 1220	157
Potencia cuerpo	35m	
Coefic. Modelam. Numerico	38	
Angulo de desplaz. Aprox.	77° - 78°	
Desplazam. En eje vertical	-0.4	
Desplazam. cono subsid. Y despl. Vertical	0.4m	
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 5px; text-align: center;"> $DM = 38 * (h/100)$ </div> <div style="text-align: center;"> <p>DM = Dist. Minima (m) h = altura de minado</p> </div> </div> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 5px; text-align: center; margin-top: 10px;"> $DM = 59.7m$ </div>		

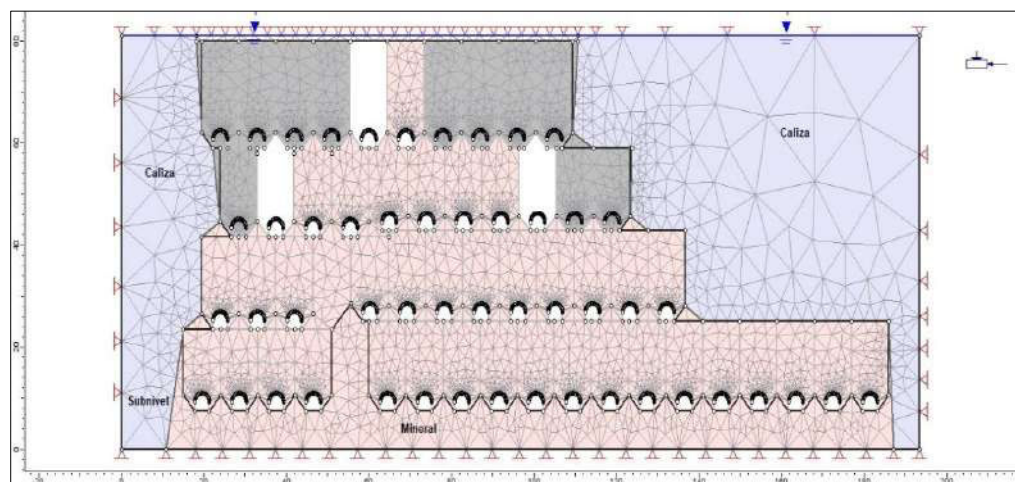
Fuente. Elaboración propia.

6.1.23. Secuencia de minado del cuerpo Esperanza

Como se ha mencionado en capítulos anteriores la secuencia en la aplicación del método de Hundimiento por Subniveles la explotación en la unidad Yauricocha se realiza desde los extremos del cuerpo en retirada y de forma descendente.

En el análisis tenso-deformacional de la secuencia de minado se ha empleado la simulación numérica empleando el método de elementos finitos en dos dimensiones. Con tal fin se ha simulado la secuencia de minado descrita anteriormente.

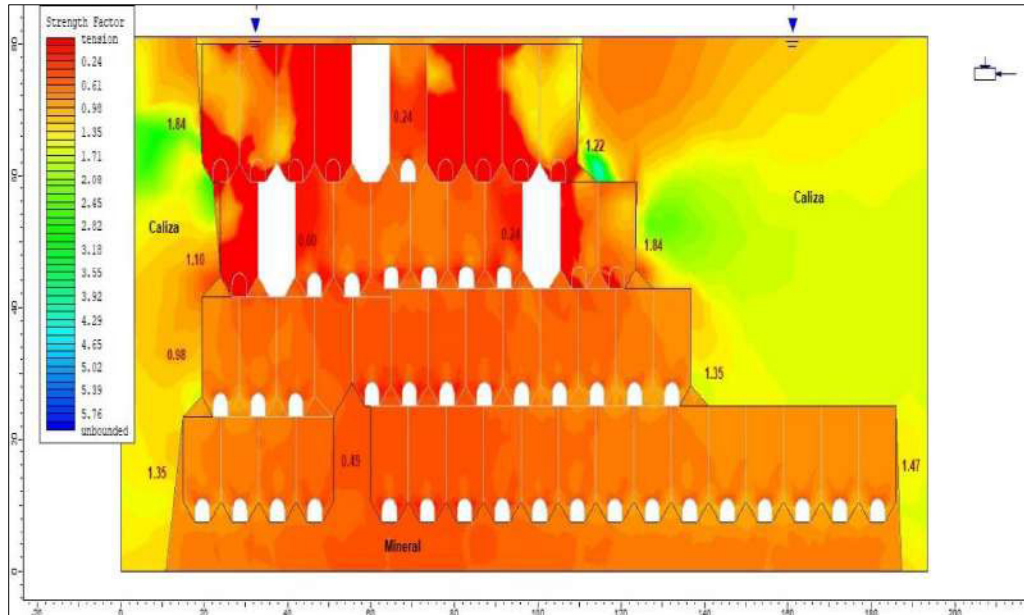
Figura 52. Modelo de análisis bidimensional - Secuencia de mina.



Fuente. Elaboración propia.

Nota: El modelo numérico generado considera la presencia de agua entorno a la zona de explotación simulada.

Figura 53. Factor de seguridad - Secuencia de minado.

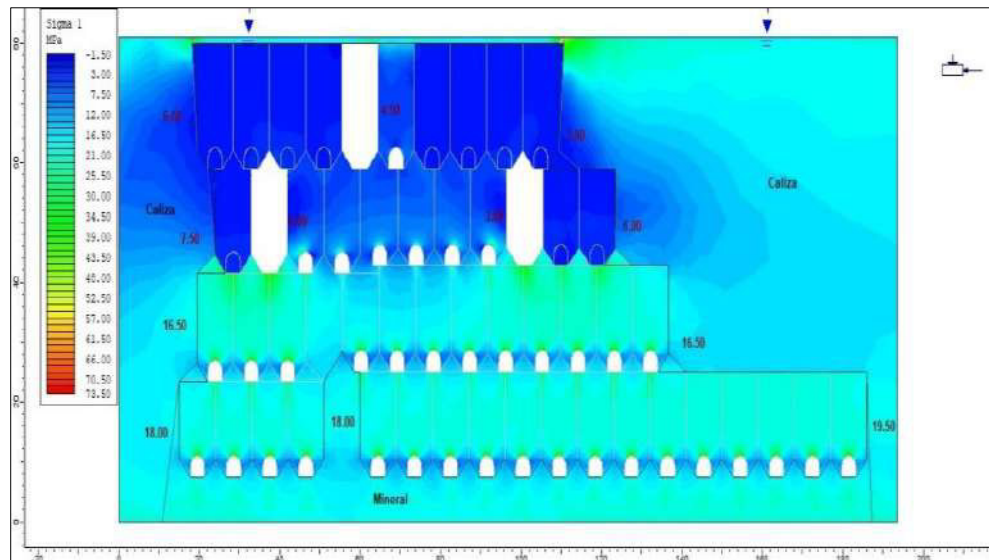


Fuente. Elaboración propia.

Nota: La simulación realizada nos brinda información sobre la estabilidad de los pilares entre las aberturas, los cuales muestran factores de seguridad (FS) desfavorables en relación a la sección presentada, con valores de FS inferiores a 1.0.

Conforme el minado avanza desde los extremos hacia el centro del cuerpo mineralizado las condiciones de estabilidad en los hastiales de las ventanas centrales ubicadas en el mismo piso del minado se ven considerablemente reducidas, debido al incremento de carga a la que son sometidas; y se observa los mismos efectos sobre la corona de las ventanas centrales de pisos inferiores al minado.

Figura 54. Campo de esfuerzos principales – Secuencia de minado.



Fuente. Elaboración propia.

Nota: La simulación efectuada nos permite conocer los cambios en las condiciones de esfuerzo principal en las ventanas durante la explotación del tajo, durante el minado se observa un incremento de los esfuerzos sobre la corona de cada ventana de pisos inferiores al minado y una alta probabilidad de falla por cizallamiento en los hastiales de las ventanas ubicadas en el mismo piso del minado.

Este análisis refuerza la interpretación, en que debe realizarse el refuerzo de cimbras en las ventanas ubicadas en la zona central del cuerpo mineralizado.

6.1.24. Secuencia de minado en una misma ventana

El minado convencional de un cuerpo mediante la aplicación del Método de Hundimiento por Subniveles contempla la ejecución de ventanas que atraviesen en su totalidad el cuerpo mineralizado.

Dentro de las variantes con el fin de dar continuidad a la operación y asegurar la estabilidad de las ventanas hasta completar su producción programada se ha visto la opción de dividir la ventana en 2, para lo cual se aprovecha las zonas de material estéril (caliza y brecha).

6.1.25. Secuencia de minado en ventanas simples

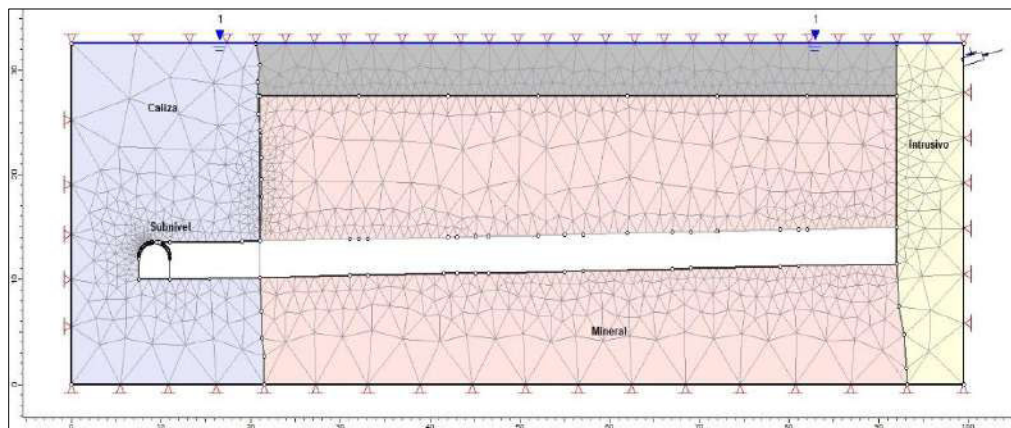
El minado de Hundimiento por Subniveles convencional que se viene aplicando en el Cuerpo Esperanza, Mina Central lleva como trazo de diseño la preparación de ventanas que atraviesen todo el cuerpo mineralizado.

6.1.26. Análisis de estabilidad en ventanas simples sostenidas con cimbras

Las cimbras empleadas en el sostenimiento de las ventanas de producción están compuestas de 2 cuerpos con sección tipo H de 6" x 6" y 20 libras por pie (Cimbras H6 20 lb/pie).

De acuerdo con los estándares que se maneja en la Unidad Yauricocha, las cimbras son espaciadas a 1.2 metros en estéril y 1.0 metros en mineral.

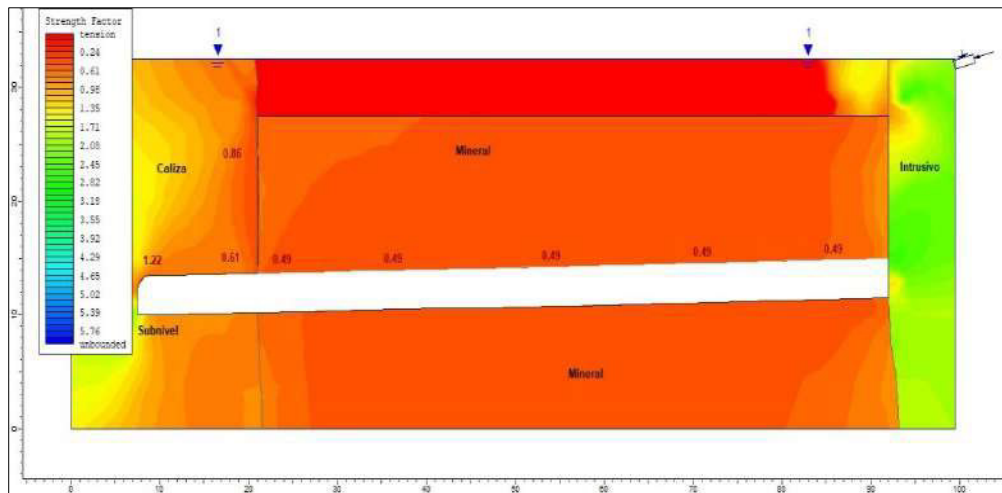
Figura 55. Modelo bidimensional - Minado de ventanas simples.



Fuente. Elaboración propia.

Nota: El modelo numérico generado considera la presencia de agua entorno a la zona de explotación simulada.

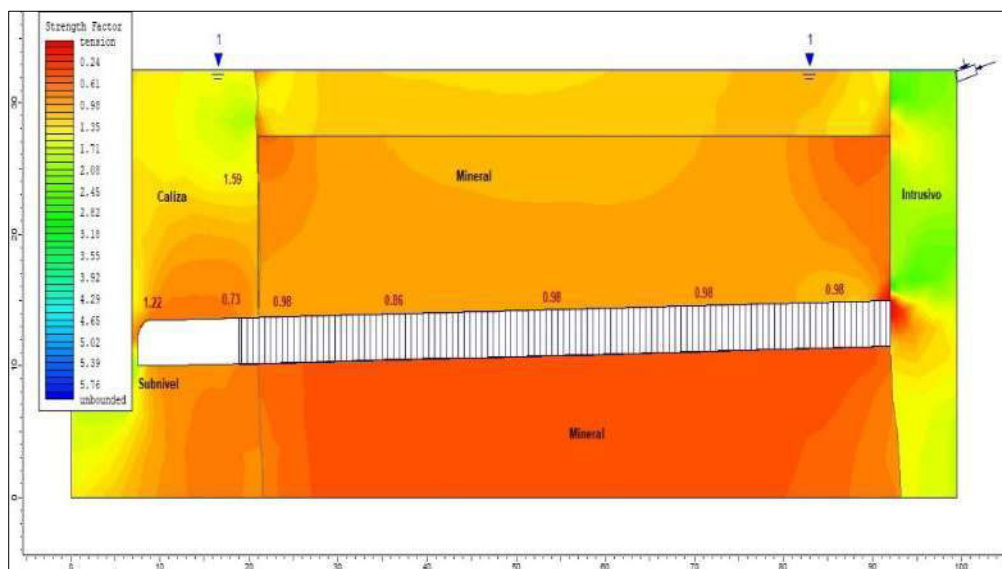
Figura 56. Factor de seguridad - Minado de ventanas simples sin sostenimiento.



Fuente. Elaboración propia.

Nota: La simulación efectuada nos permite conocer las condiciones de estabilidad del pilar y su influencia en el subnivel durante el minado el tajo, las cuales convergen en factores de seguridad (FS) desfavorables respecto a la sección mostrada $FS < 1.0$.

Figura 57. Factor de seguridad – Minado de ventanas simples sin sostenimiento.



Fuente. Elaboración propia.

Nota: La simulación efectuada nos permite conocer las condiciones de estabilidad del pilar y su influencia en el subnivel durante el minado el tajo, las cuales convergen en factores de seguridad (FS) pseudo - favorables respecto a la sección mostrada $FS \approx 1.0$.

El modelo contempla el uso de cimbras, H6 de 20 libras/pies espaciados a 1.0 metro, como elementos de sostenimiento.

6.1.27. Análisis de estabilidad en ventanas simples sostenidas con cimbras reforzadas

Ante el avance de minado (profundización de la excavación) la magnitud de los esfuerzos actuantes sobre el sostenimiento (σ_1 de 10 a 32 MPa) viene generando condiciones de inestabilidad ante lo cual el departamento de geomecánica viene implementando variantes ya aplicadas en el minado de pisos superiores.

Una de las variantes de refuerzo de las cimbras instaladas es el uso de arcos de concreto, la estructura metálica es preparada con fierro de $\phi=1/2"$ y $3/8"$ es cubierta con 6" de shotcrete reforzado con fibra.

El arco provee de una mayor resistencia estructural a las cimbras ya instaladas incrementado el tiempo de exposición del sostenimiento.

6.1.28. Dimensionamiento del espaciado entre cimbras reforzadas

El espaciado entre cada cimbra reforzada fue determinado empleando el Método Gráfico de Estabilidad desarrollado por Mathews (1981) y modificado por Potvin (1992).

El procedimiento de diseño aplicando esta metodología está basado en el cálculo de los factores N' y S , donde:

- N' : número de estabilidad N' cuyo valor representa la característica del macizo rocoso de permanecer estable bajo ciertas condiciones.
- S : radio hidráulico o factor de forma, el cual toma en cuenta el tamaño y forma del tajeo.

6.1.29. Número de estabilidad N

El parámetro N' representa la calidad geotécnica del área donde será realizado el minado, su valor es obtenido de la aplicación de la ecuación 5, capítulo 2.

Al ser ingresados el valor del número de estabilidad y radio hidráulico en el ábaco de Mathews nos será posible determinar las condiciones de estabilidad de la excavación.

$$N' = Q' * A * B * C$$

Donde:

- N': Número de estabilidad N de Mathews.
- Q': Índice de calidad de roca Q modificado.
- A: Factor de ajuste por esfuerzos inducidos.
- B: Factor de ajuste por orientación de estructuras.
- C: Factor gravitacional.

6.1.30. Radio hidráulico

En la estimación del radio hidráulico se toma en consideración la altura del bloque de minado (H) y la potencia del tajeo (P), siendo obtenido de la relación entre la superficie sobre el perímetro de la pared analizada.

Tabla 23. Radio hidráulico para el espaciado entre cimbras reforzadas.

Parámetro	Altura	Largo	Área	Perímetro	Radio hidráulico
Contacto	3.5	16	56	39	1.4
Contacto	3.5	16	56	39	1.4
Lateral	16	12	192	56	3.4
Techo	10	3.5	35	27	1.3

Fuente. Elaboración propia.

Índice de calidad de roca de Barton modificado (Q')

El valor del índice de Barton modificado (Q') es hallado al considerar tanto el Factor de Reducción de Esfuerzos (SRF) y Factor de reducción de agua (Jw) igual a la unidad, condiciones casi presentes debido a la baja influencia del estado tensional del macizo rocoso y a la baja filtración de agua en el tajo en estudio.

Índice de calidad de roca modificado (Q')

Tabla 24. Índice de calidad de roca modificado (Q').

Parámetro	RMR	RQD	Jn	Jr	Ja	Q'
Contacto piso	35	25	9	1	2	1.4
Contacto techo	21	15	9	1	6	0.3
Lateral	25	10	12	1	6	0.1
Techo	25	10	12	1	6	0.1

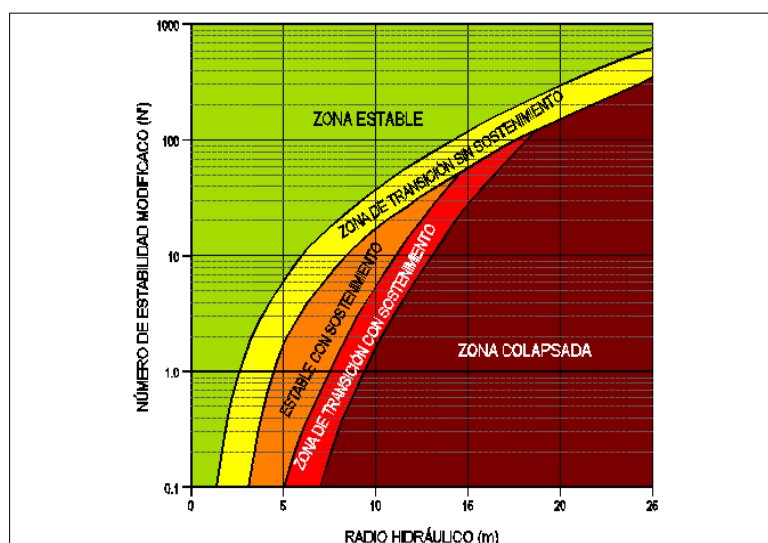
Fuente. Elaboración propia.

Tabla 25. Método gráfico de estabilidad - Potvin y Nickson (1992).

Parámetro	RH	Q'
Contacto piso	1.4	1.4
Contacto techo	1.4	0.3
Lateral	3.4	0.1
Techo	1.3	0.1

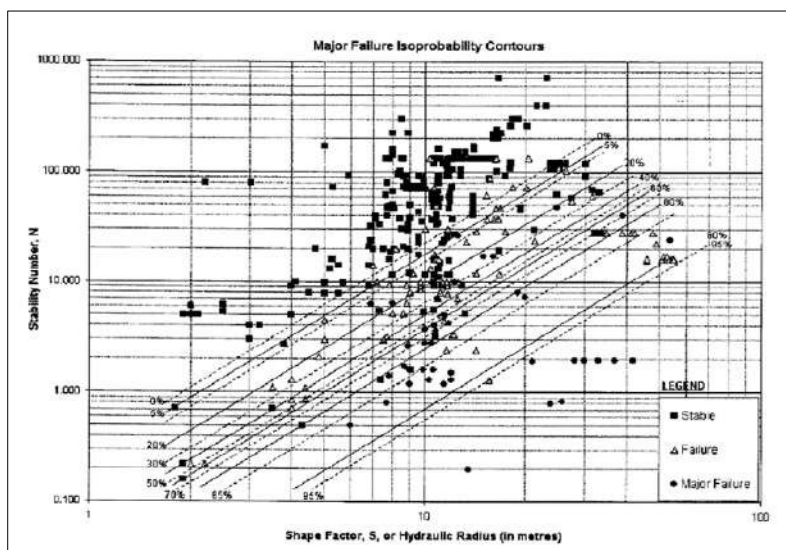
Fuente. Elaboración propia.

Figura 58. Método gráfico de estabilidad.



Fuente. Potvin y Nickson (1992).

Figura 59. Probabilidad de falla mayor.



Fuente. Mawdesley (1992).

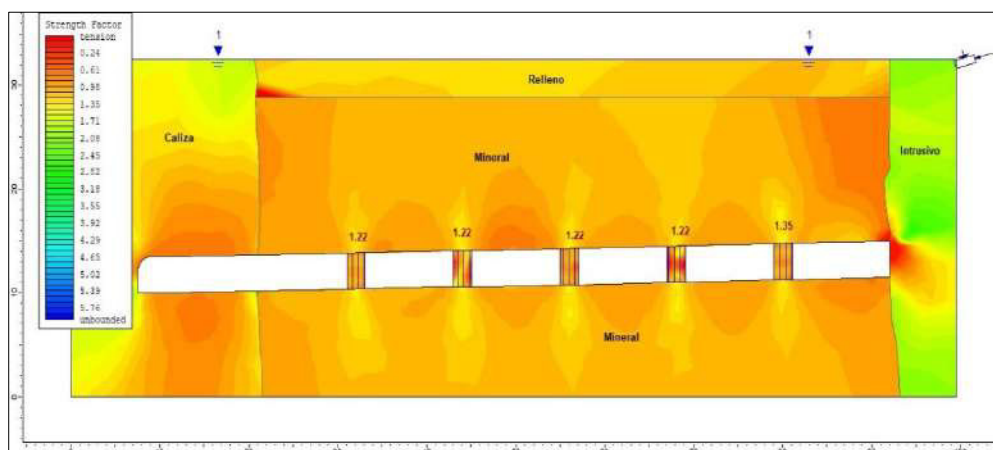
Tabla 26. Probabilidad de falla de Mawdesley - 10 metros de espaciado.

Superficie	Probabilidad de falla mayor (%)		
	e = 10m	e = 12m	e = 15m
Contacto piso	< 20%	20%	>20%
Contacto techo	< 90%	< 95%	> 90%
Lateral	< 90%	90%	> 95%
Techo	≈ 85%	90%	> 90%

Fuente. Elaboración propia.

Al aumentar el espaciado entre las cimbras reforzadas (10 a 15 metros) la probabilidad de falla de la corona se ve incrementado de un 85% a 95% por lo cual se ha podido determinar en 10 metros el espaciado entre los refuerzos a instalar.

Figura 60. Factor de seguridad - Minado de ventanas simples reforzadas.



Fuente. Elaboración propia.

Nota: La simulación efectuada nos permite conocer las condiciones de estabilidad del pilar y su influencia en el subnivel durante el minado el tajo, las cuales convergen en factores de seguridad (FS) favorables respecto a la sección mostrada $FS > 1.0$.

El modelo contempla el uso de cimbras y cimbras con arcos de concreto, distanciados 10 metros, como elementos de sostenimiento.

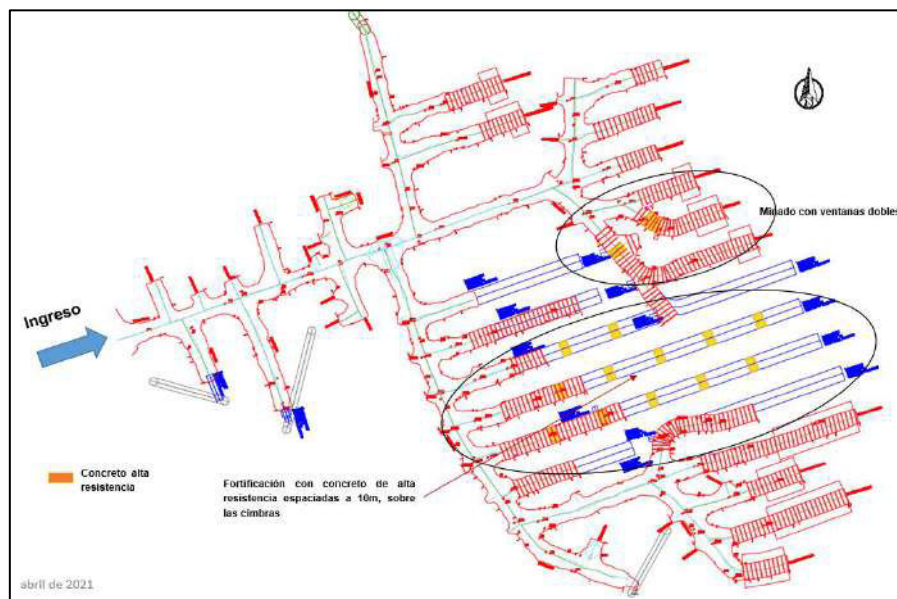
6.1.31. Secuencia de minado en ventanas dobles

Diseño de la secuencia de minado en ventanas dobles, empleado con relativa efectividad en el minado de las ventanas 11, 12, 16 del nivel 1070 piso 5, donde una ventana de diseño es dividida en 2 con el fin de asegurar la estabilidad y maximizar la extracción de mineral durante la etapa de minado

Esta metodología fue empleada debido a la gran potencia del cuerpo a ser minado en un tramo específico (zona central), el cuerpo alcanza una potencia máxima de 65 a 75 metros

Figura 61. Topografía de minado por ventanas dobles - Nv1070

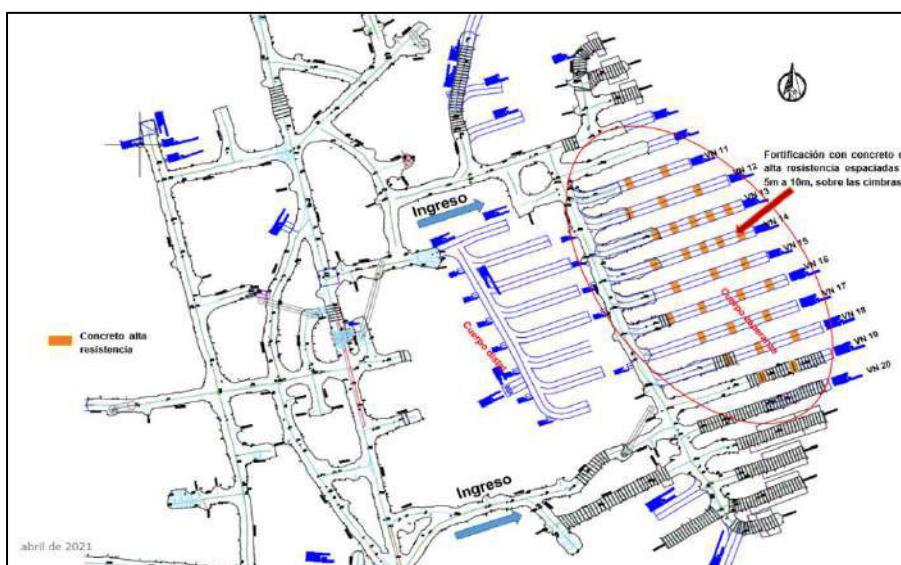
Piso 5.



Fuente. Elaboración propia.

En Nv. 1070 P-0, las condiciones se hacen más complejas debido a que las ventanas tienen una longitud de 50m, se tiene el diseño de fortificación de concreto de alta resistencia espaciadas que superará para asegurar el block mineralizado del 1070 – piso 05 y 11.

Figura 62. Topografía de minado por ventanas dobles - Nv 1070 Piso 0.



Fuente. Elaboración propia.

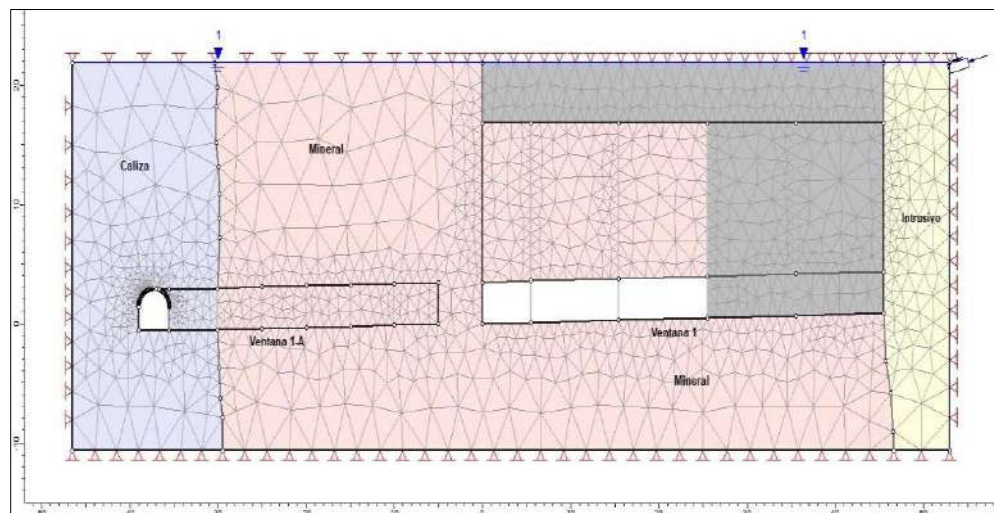
6.1.32. Escenario 1, Minado en retirada sin preparar primer tramo

El escenario 1 de minado en ventanas dobles, contempla la explotación del cuerpo en retirada, preparando y minando el segundo tramo (tramo mineral – intrusivo) antes de iniciarse la preparación y posterior minado de la ventana del primer tramo (tramo caliza – intrusivo).

Este escenario permite asegurar la estabilidad y tiempo de vida del sostenimiento aplicado debido a los cortos tiempos de exposición al cambio de esfuerzos y tensiones a los que se encontrarán expuestos.

El modelo de análisis bidimensional emplea la metodología de elementos finitos (MEF) basado en el comportamiento de post-rotura de los materiales de tipo elasto-plástico en un estado bidimensional.

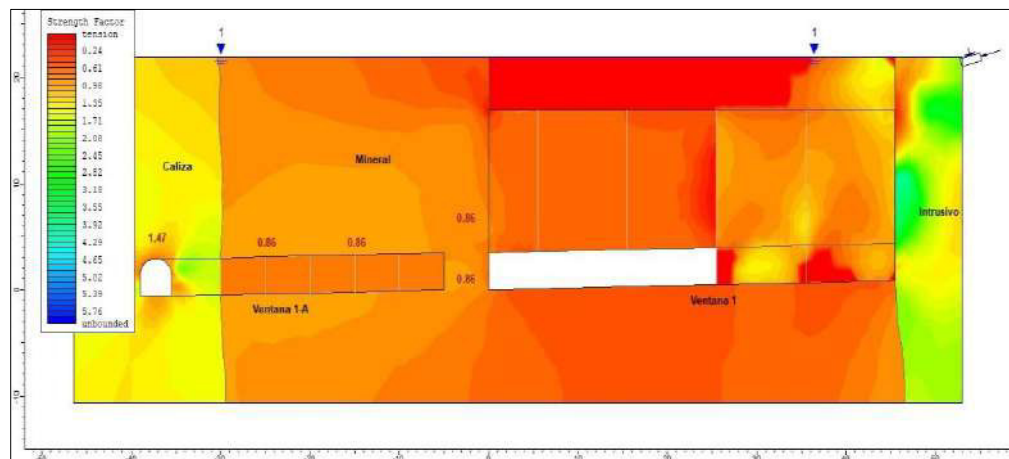
Figura 63. Modelo de análisis bidimensional - Escenario 1, Minado en retirada.



Fuente. Elaboración propia.

Nota: El modelo numérico generado considera la presencia de agua entorno a la zona de explotación simulada

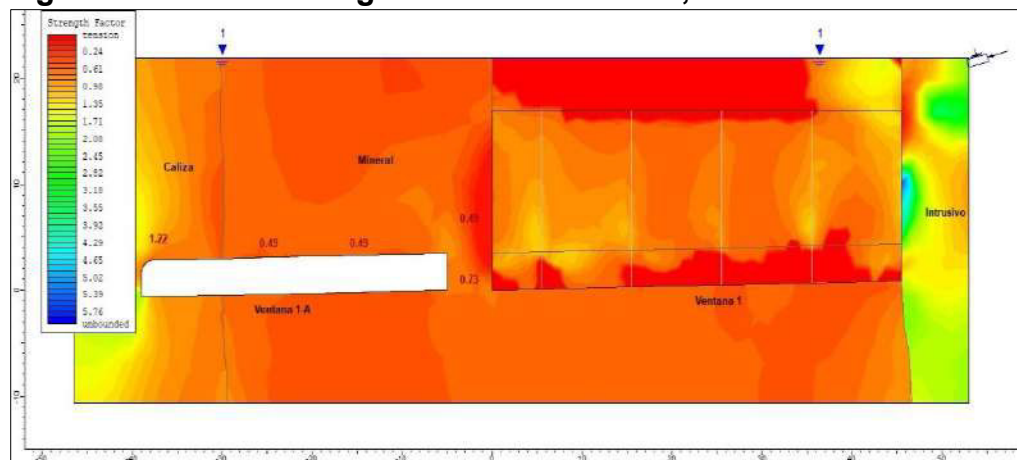
Figura 64. Factor de seguridad - Escenario 1, Minado en retirada.



Fuente. Elaboración propia.

Nota: Las condiciones de estabilidad del pilar entre ambas ventanas (potencia de 5.0 a 6.0 metros) convergen en factores de seguridad no favorables, $FS < 1.0$ los cuales pueden ser controlados con el uso de sostenimiento con cimbras metálicas de 2 cuerpos H6 de 20 libras/pie.

Figura 65. Factor de seguridad - Escenario 1, Minado en retirada.



Fuente. Elaboración propia.

Nota: Las condiciones de estabilidad de la ventana del tramo (caliza – mineral) convergen en factores de seguridad no favorables, $FS < 1.0$ los cuales pueden ser controlados con el uso de sostenimiento con cimbras metálicas de 2 cuerpos H6 de 20 libras/pie.

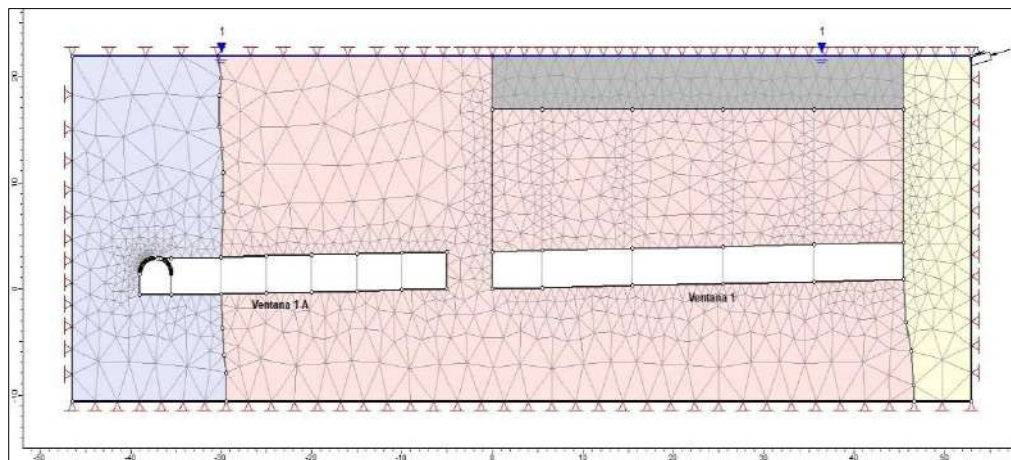
6.1.33. Escenario 2, Minado en retirada preparando primer tramo

El escenario 2 de minado en ventanas dobles, considera la explotación del cuerpo en retirada, preparando y minando el segundo tramo (tramo mineral – intrusivo) completada la preparación de la ventana del primer tramo (tramo caliza – intrusivo).

Al prepararse en simultáneo ambas ventanas, el primer tramo se encontrará sujeta al cumplimiento de producción del segundo tramo por lo que el tiempo de exposición al cambio de esfuerzos y tensiones a los que se encontrará el sostenimiento es mayor, lo cual se traduce en un incremento de la probabilidad de falla del sostenimiento instalado.

El modelo de análisis bidimensional emplea la metodología de elementos finitos (MEF) basado en el comportamiento de post-rotura de los materiales de tipo elasto-plástico en un estado bidimensional.

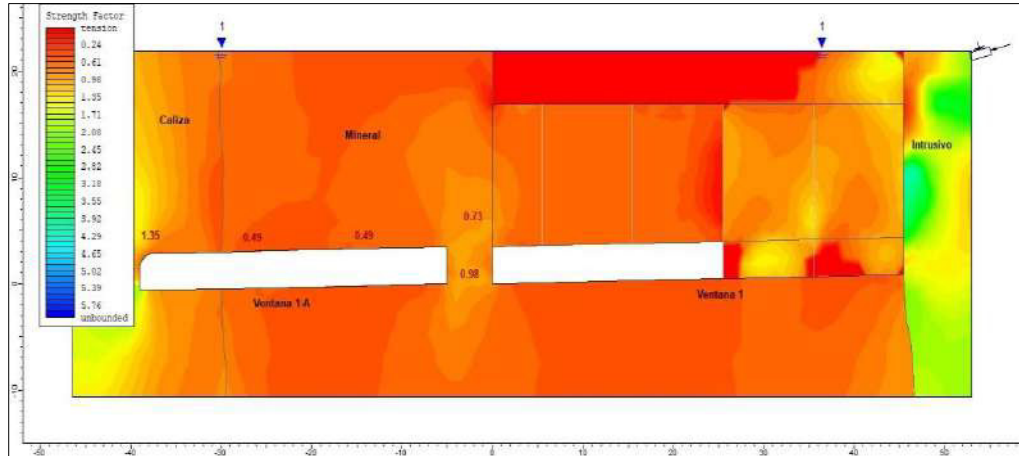
Figura 66. Modelo de análisis bidimensional - Escenario 2, Minado en retirada.



Fuente. Elaboración propia.

Nota: El modelo numérico generado considera la presencia de agua entorno a la zona de explotación.

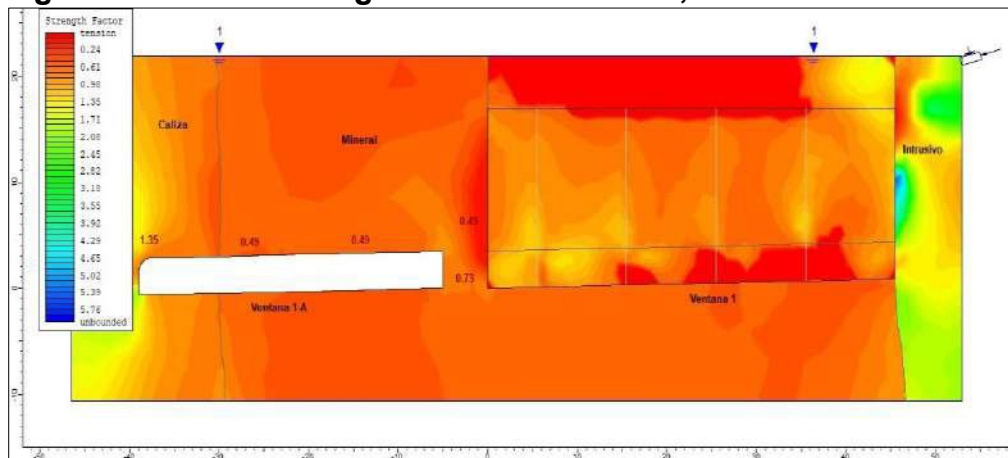
Figura 67. Factor de seguridad - Escenario 2, Minado en retirada.



Fuente. Elaboración propia.

Nota: Las condiciones de estabilidad del pilar entre ambas ventanas (potencia de 5.0 a 6.0 metros) convergen en factores de seguridad pseudo - favorables, $FS \approx 1.0$, la estabilidad del tramo 1 preparado convergen en factores de seguridad no favorables por lo que el tiempo al cual se mantendrá expuesto el sostenimiento aplicado será determinante.

Figura 68. Factor de seguridad - Escenario 2, Minado en retirada.



Fuente. Elaboración propia.

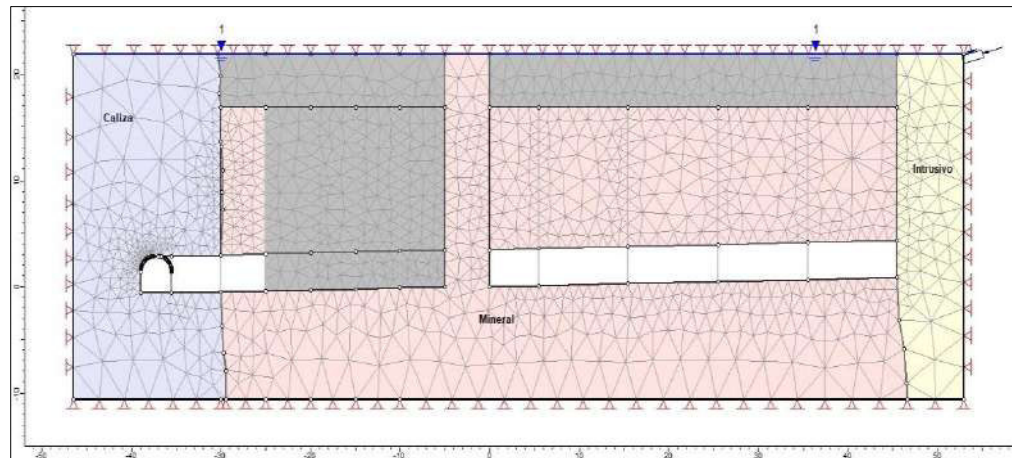
Nota: Las condiciones de estabilidad de la ventana del tramo (caliza – mineral) convergen en factores de seguridad no favorables, $FS < 1.0$, generándose una condición de inestabilidad en torno a este tramo, los cuales pueden ser controlados con el uso de sostenimiento con cimbras metálicas de 2 cuerpos H6 de 20 libras/pie y/o con el refuerzo de una estructura metálica cubierta de shotcrete.

6.1.34. Escenario 3, Minado en avanzada preparando el segundo tramo

El escenario 3 de minado en ventanas dobles, considera la explotación del cuerpo en avanzada, preparando y minando el primer tramo (tramo caliza – intrusivo) completada la preparación de la ventana del segundo tramo (tramo mineral – intrusivo).

Al prepararse en simultáneo ambas ventanas, el segundo tramo se encontrará sujeta al cumplimiento de producción del primer tramo por lo que el tiempo de exposición al cambio de esfuerzos y tensiones a los que se encontrará el pilar y el sostenimiento entre ambas ventanas es mayor, lo cual se traduce en un incremento de la probabilidad de falla del sostenimiento instalado.

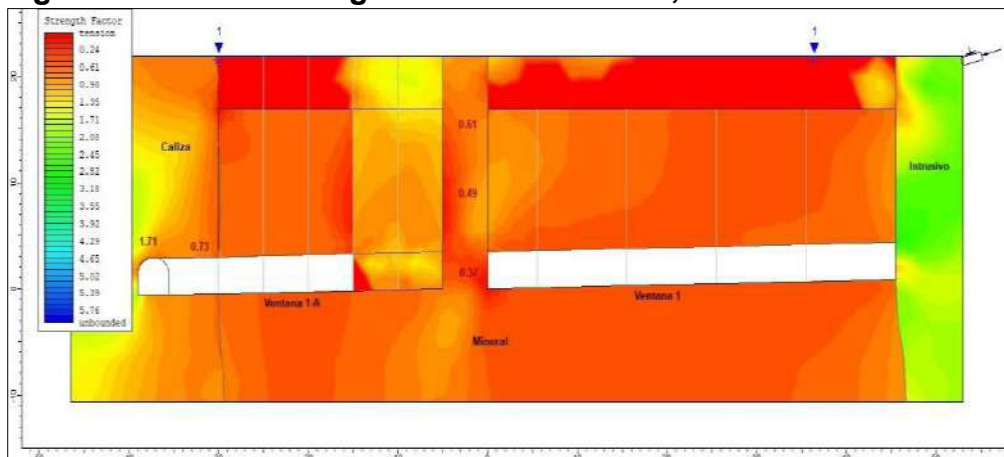
Figura 69. Modelo de análisis bidimensional - Escenario 3, Minado en avanzada.



Fuente. Elaboración propia.

Nota: El modelo numérico generado considera la presencia de agua entorno a la zona de explotación simulada

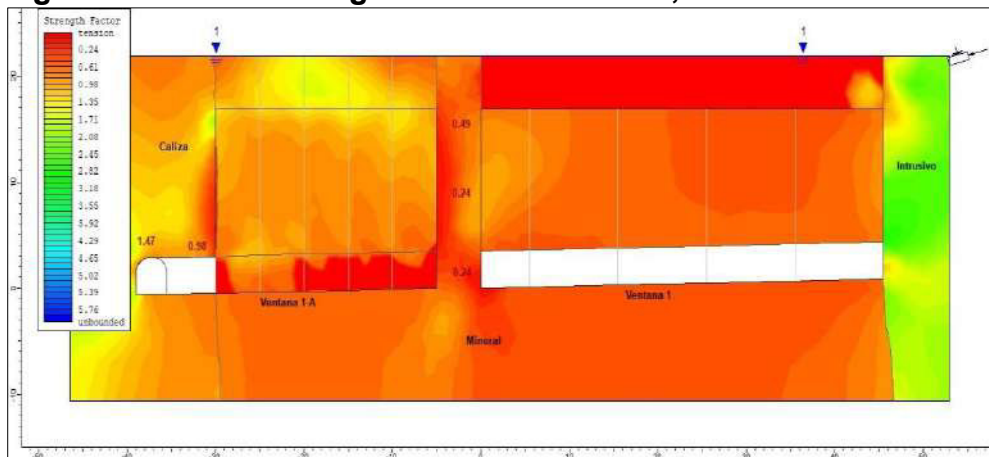
Figura 70. Factor de seguridad - Escenario 3, Minado en avanzada.



Fuente. Elaboración propia.

Nota: Las condiciones de estabilidad del pilar entre ambas ventanas (potencia de 5.0 a 6.0 metros) convergen en factores de seguridad desfavorables, $FS < 1.0$, la estabilidad del tramo 2 preparado convergen en factores de seguridad no favorables por lo que el tiempo al cual se mantendrá expuesto el sostenimiento aplicado será determinante.

Figura 71. Factor de seguridad - Escenario 3, Minado en avanzada.



Fuente. Elaboración propia.

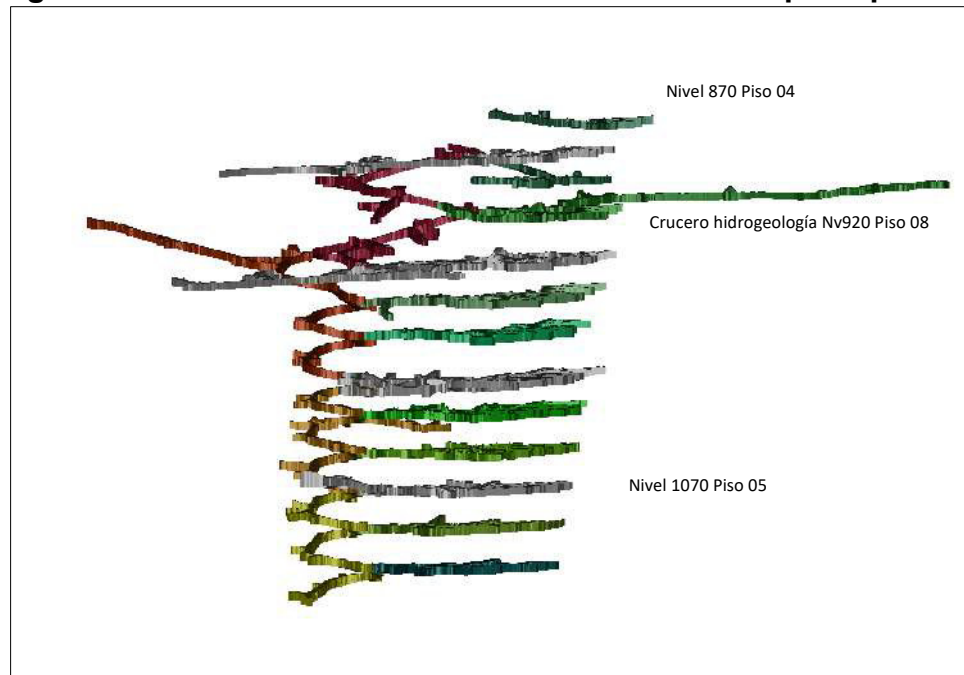
Nota: Las condiciones de estabilidad del pilar entre las ventanas convergen en factores de seguridad no favorables, $FS < 0.5$, generándose una condición de inestabilidad en torno al acceso para el minado del segundo tramo.

6.1.35. Cono de subsidencia

➤ **Registro de información y modelado 3D del cono de subsidencia – Esperanza**

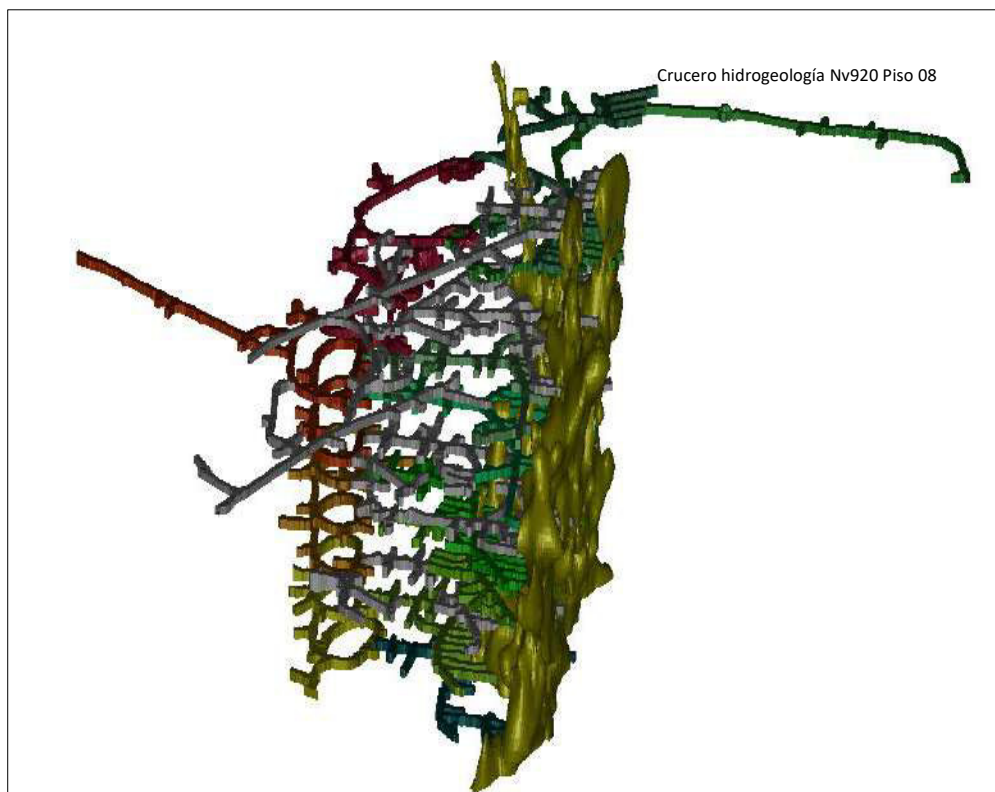
A la fecha de la elaboración de la presente investigación el minado del cuerpo Esperanza se viene realizando en los pisos 0 y 5 del nivel 1070, la información fue registrada por el departamento de geomecánica entre los meses de enero y febrero del 2021. Se tomó información del cono de daño entorno al minado del cuerpo Esperanza desde el nivel 1070 piso 11 hacia los niveles superiores abarcando hasta el nivel 870 (piso 08), se hizo una inspección y toma de dato en campo, se ha contorneado e interpretado utilizando el software Mine Sight.

Figura 72. Sección transversal del minado en el cuerpo Esperanza.



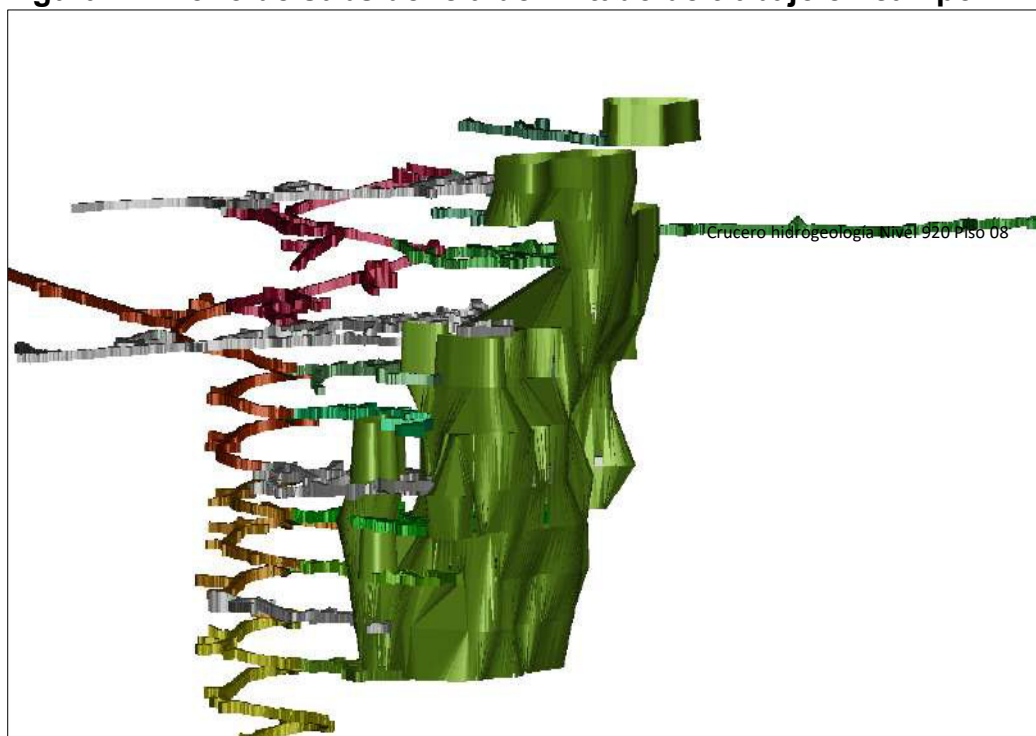
Fuente. Elaboración propia.

Figura 73. Explotación del cuerpo Esperanza.



Fuente. Elaboración propia.

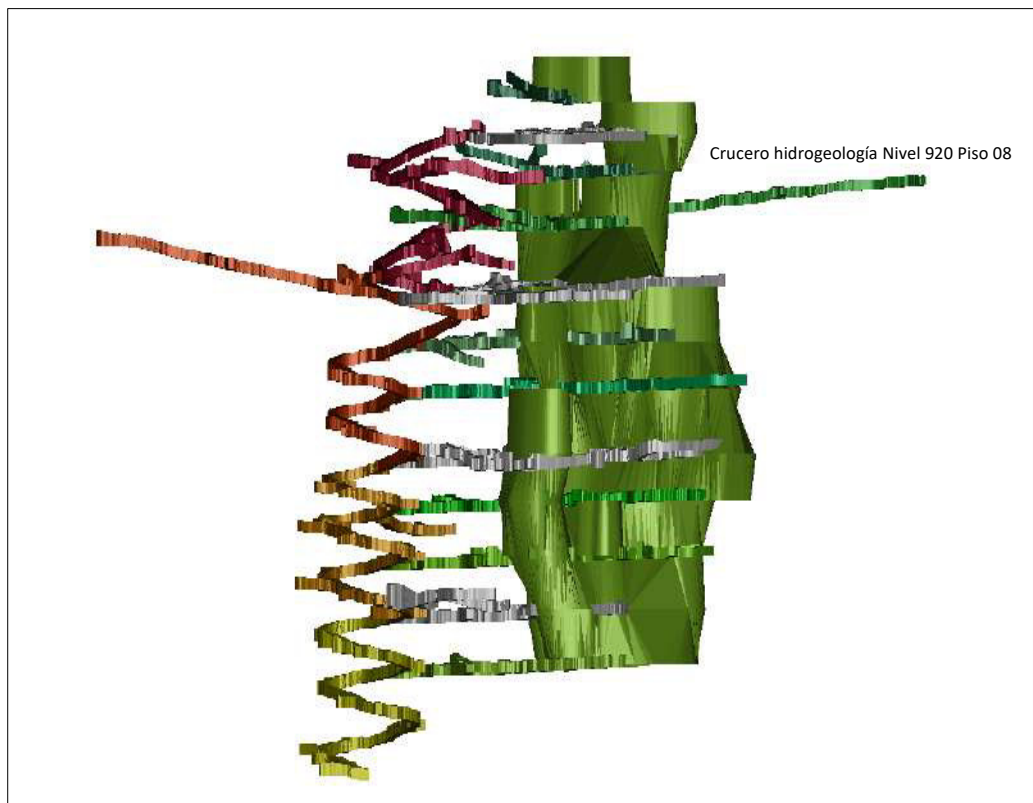
Figura 74. Cono de subsidencia delimitado de trabajo en campo.



Fuente. Elaboración propia.

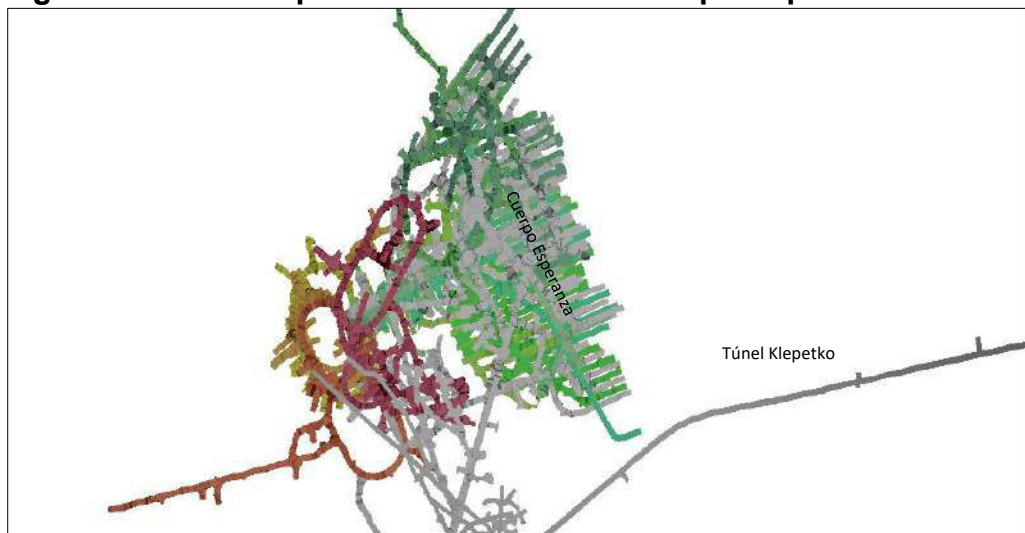
Figura 75. Cono de subsidencia delimitado de trabajo en campo,

vista E-W.



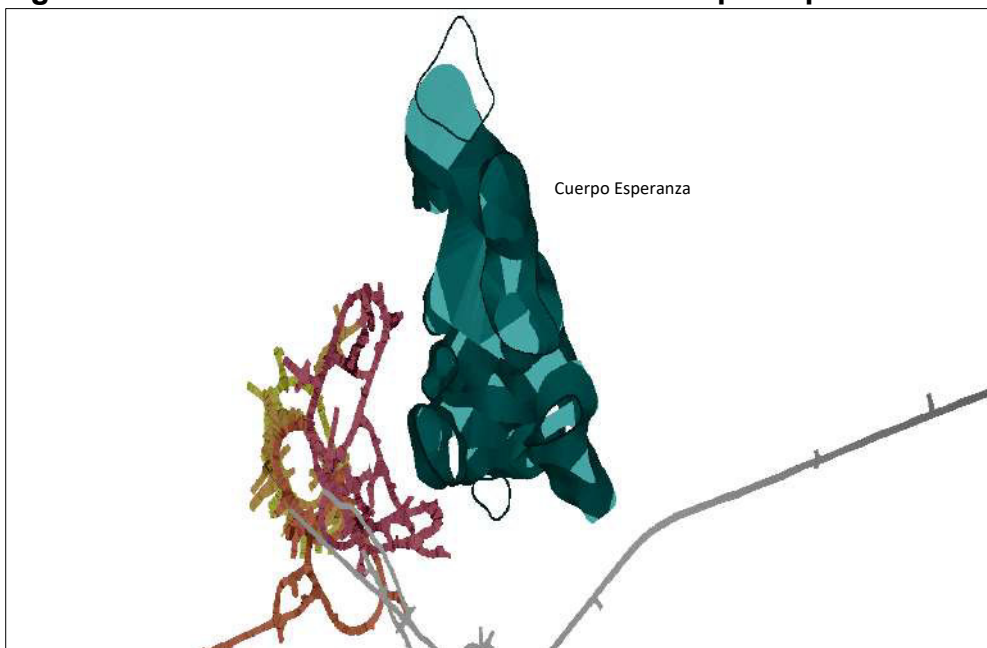
Fuente. Elaboración propia.

Figura 76. Vista en planta del minado del cuerpo Esperanza.



Fuente. Elaboración propia.

Figura 77. Vista isométrica del minado del cuerpo Esperanza.

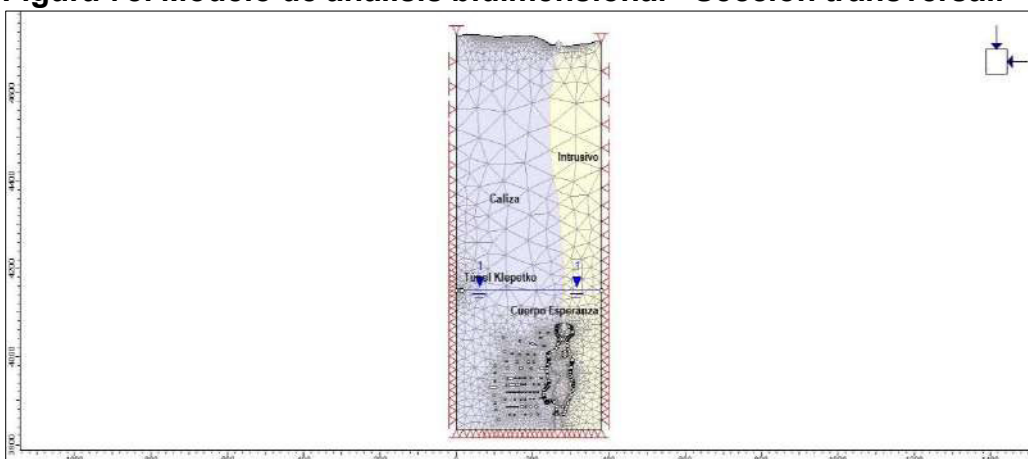


Fuente. Elaboración propia.

6.1.36. Evaluación de estabilidad – cono de subsidencia

El modelo de análisis bidimensional emplea la metodología de elementos finitos (MEF) basado en el comportamiento de post-rotura de los materiales de tipo elasto-plástico en un estado bidimensional.

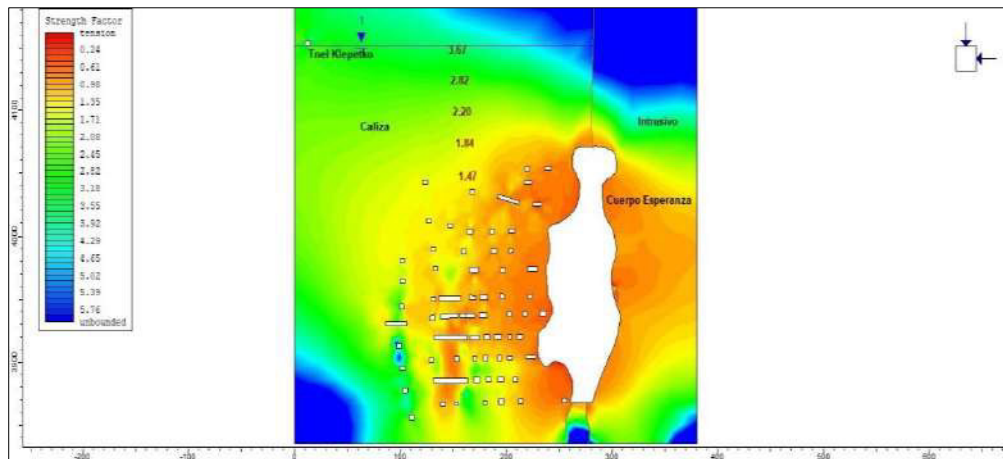
Figura 78. Modelo de análisis bidimensional - Sección transversal.



Fuente. Elaboración propia.

Nota: El modelo numérico generado considera la presencia de agua entorno a la zona de explotación simulada.

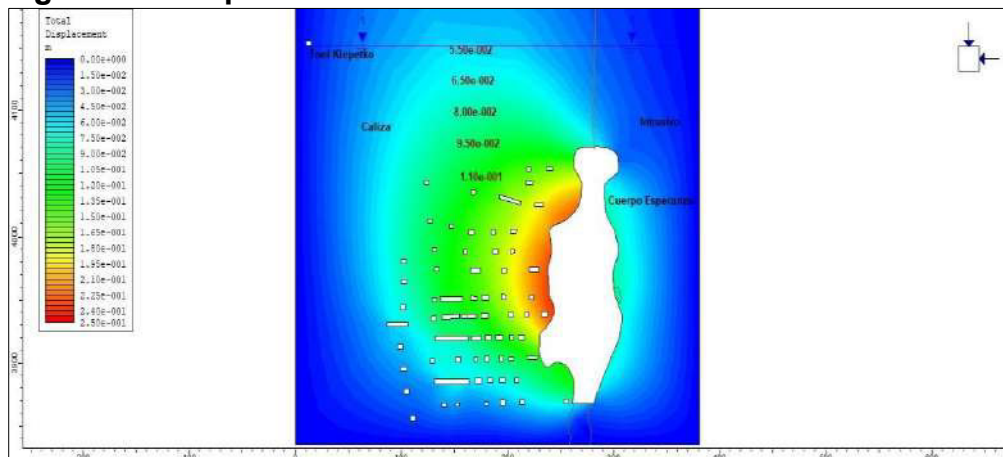
Figura 79. Factor de seguridad – Sección transversal de minado.



Fuente. Elaboración propia.

Nota: Las condiciones de estabilidad entorno al minado del cuerpo Esperanza convergen en factores de seguridad no favorables, $FS < 1.0$, siendo el ancho de plastificación 75 metros.

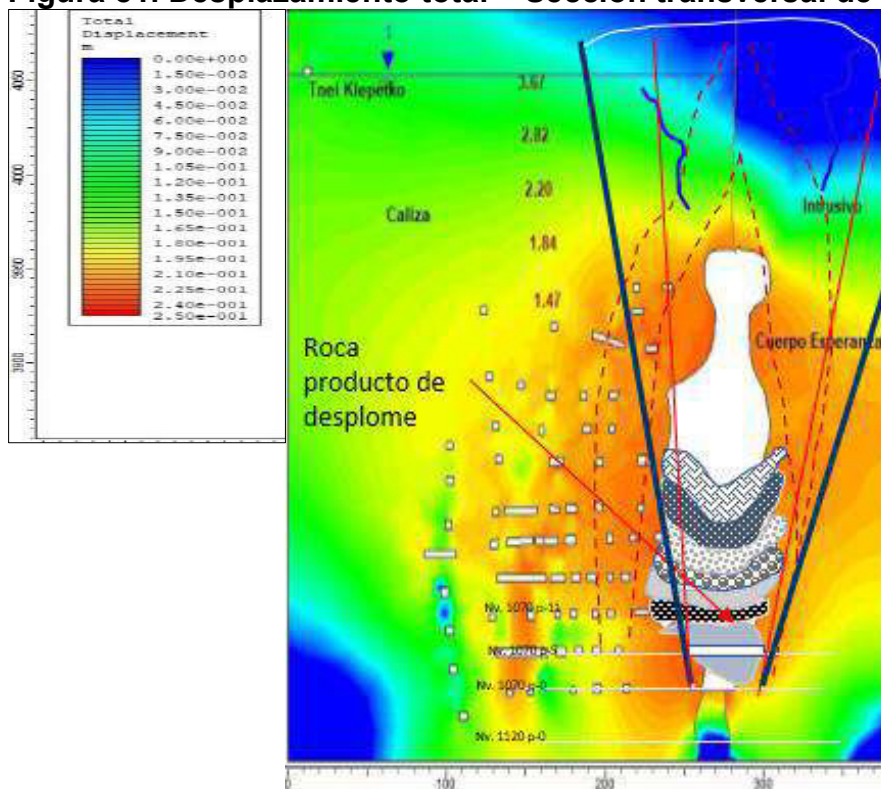
Figura 80. Desplazamiento total – Sección transversal de minado.



Fuente. Elaboración propia.

Se observa un fuerte desplazamiento que se extiende en torno a la excavación generada de aplicarse el método de Hundimiento por subniveles en el cuerpo Esperanza que va desde el nivel 820 piso 0 al nivel 1020 piso 8.

Figura 81. Desplazamiento total – Sección transversal de minado.



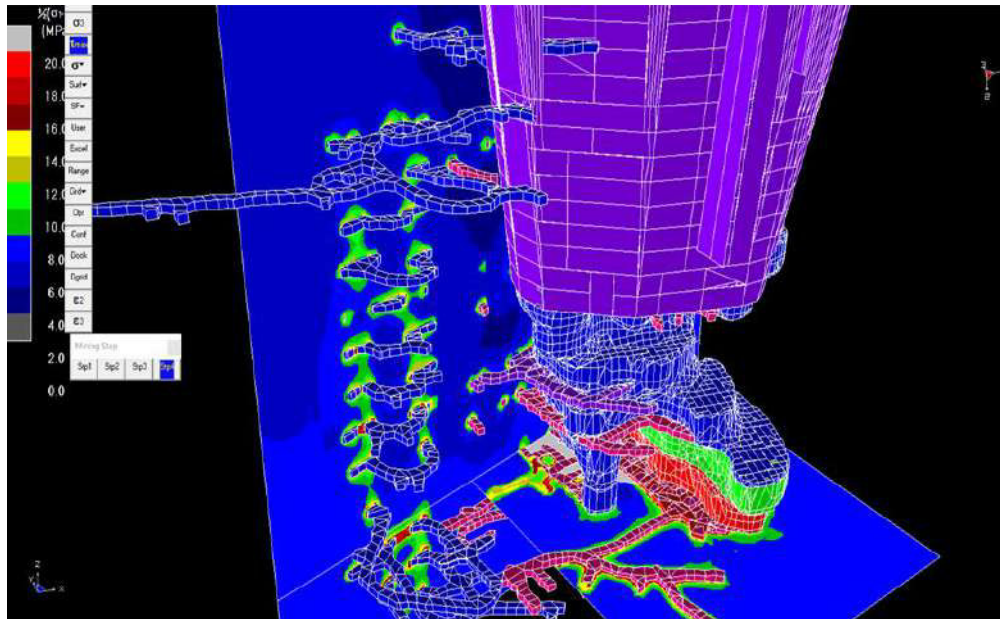
Fuente. Elaboración propia.

El desplazamiento en torno al borde la excavación se encuentra entre los 18 a 23.5 cm, mientras que a una distancia de 15 metros el desplazamiento se encuentra entre 18 y 18.5 cm. Esta representa un riesgo de estabilidad de las labores en la parte inferior debido a la posibilidad que un bloque se desprenda y como se puede ver el desplome del material producto del minado.

6.1.37. Modelo de análisis tridimensional – Cuerpo esperanza

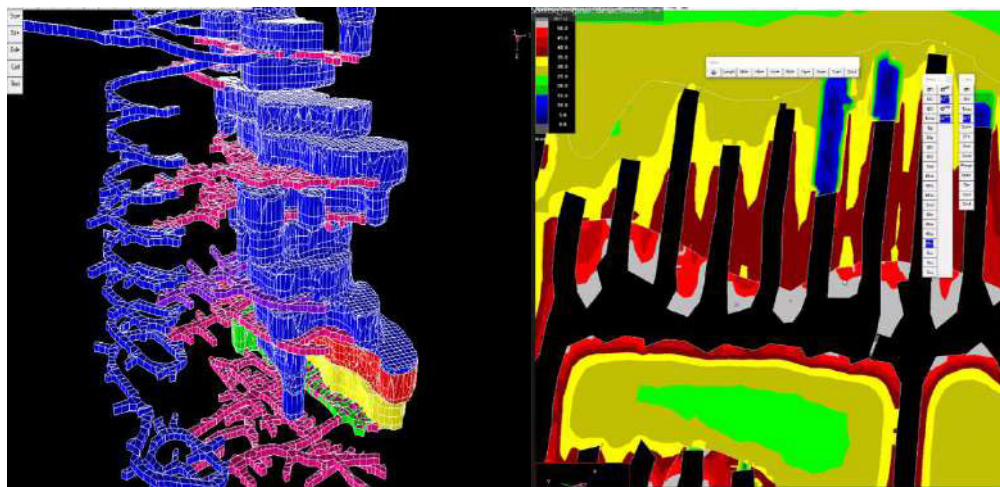
De acuerdo con el análisis realizado en el software Map 3D, se evidencia como actúan los esfuerzos naturales e inducidos en todas las excavaciones así también como afecta el cono de subsidencia a la explotación a las labores más profundas de la mina.

Figura 82. Vista isométrica del Cuerpo Esperanza y el cono de subsidencia.



Fuente. Elaboración propia.

Figura 83. Cuerpo esperanza e influencia de los esfuerzos en los pilares de 5.5m.



Fuente. Elaboración propia.

En la figura superior lado izquierdo, se logra observar el cuerpo esperanza en vista isométrica, del lado derecho se tiene el diseño actual del ancho de pilar de ventana a ventana que es de 5.5m, se evidencia el efecto que tienen los esfuerzos en dichas ventanas, la zona de color rojo nos indica que hay mayor inestabilidad y el amarillo

es una zona más estable, por esa razón es que se da más énfasis en el sistema de sostenimiento para soportar los altos esfuerzos.

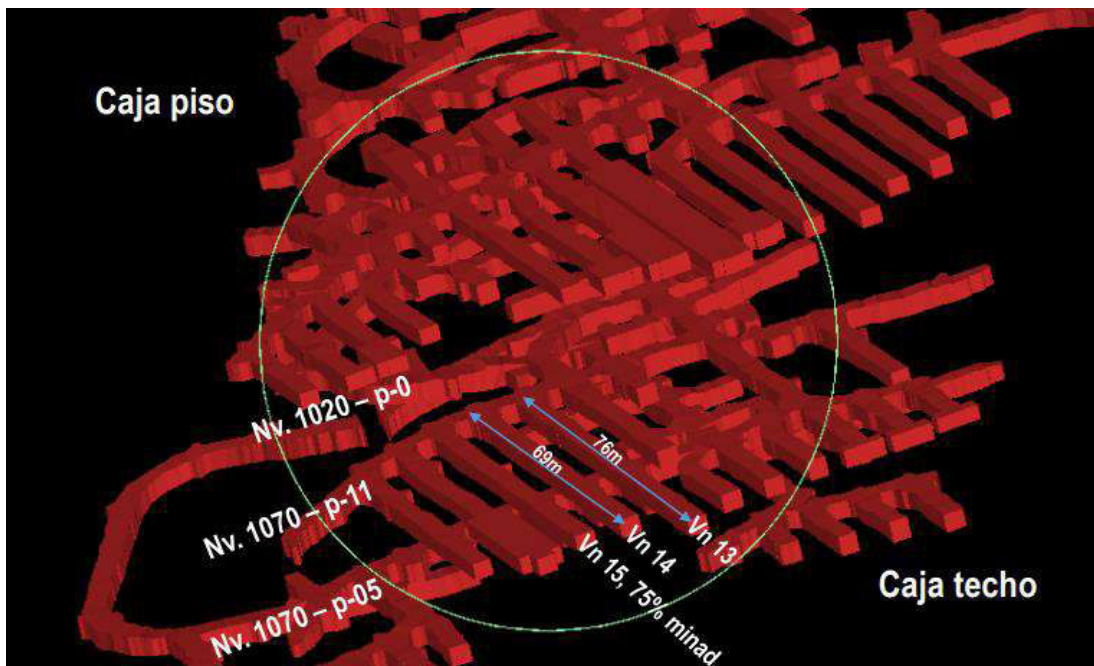
6.2. Interpretación y discusión de resultados

De acuerdo con la presente investigación, he analizado la estabilidad en las ventanas en el cuerpo esperanza considerando todos los parámetros para finalmente tener un modelo tenso – deformacional en las labores de explotación (ventanas) por lo tanto, para hallar la solución al problema partimos de todo el análisis realizado.

6.2.1. 3D de Cuerpo Esperanza

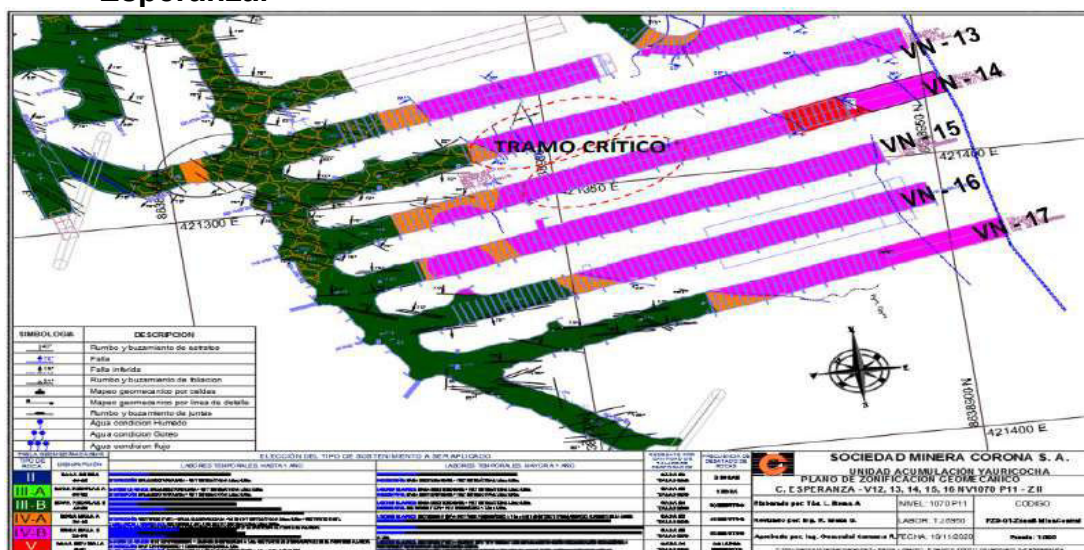
Corresponde a la zona mineralizada. De acuerdo con los antecedentes descritos, la calidad del macizo rocoso presente de calidad “Mala – B (IV-B) y tramos Muy mala (V) con un rango de RMR entre 17-25 (Según RMR de Bieniawski).

Figura 84. Vista 3D de las labores de desarrollo - Cuerpo Esperanza.



Fuente. Departamento de planeamiento.

Figura 85. Zonificación geomecánica Ventanas Nv.1070 - C. Esperanza.



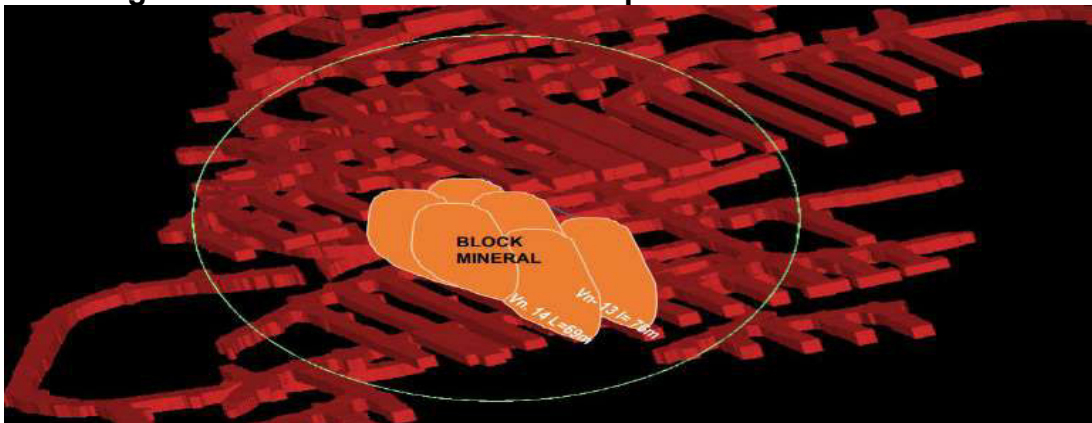
Fuente: Elaboración propia.

6.2.2. Reporte de Toneladas y NSR del área de Planeamiento.

Reporte de Geología, cantidad de mineral influenciado y con riesgos de no recuperar al 100%.

- Vn. 13 - Piso 11 cuyo tonelaje estimado es de 32500 tn, con un valor de NSR de 149,2 USD que finalmente tiene un valor total de 4,849K USD.
- Vn. 14 - Piso 11 cuyo tonelaje estimado es de 32000 tn, con un valor de NSR de 128,52 USD que finalmente tiene un valor total de 4,112K USD.

Figura 86. Block de mineral - C. Esperanza.

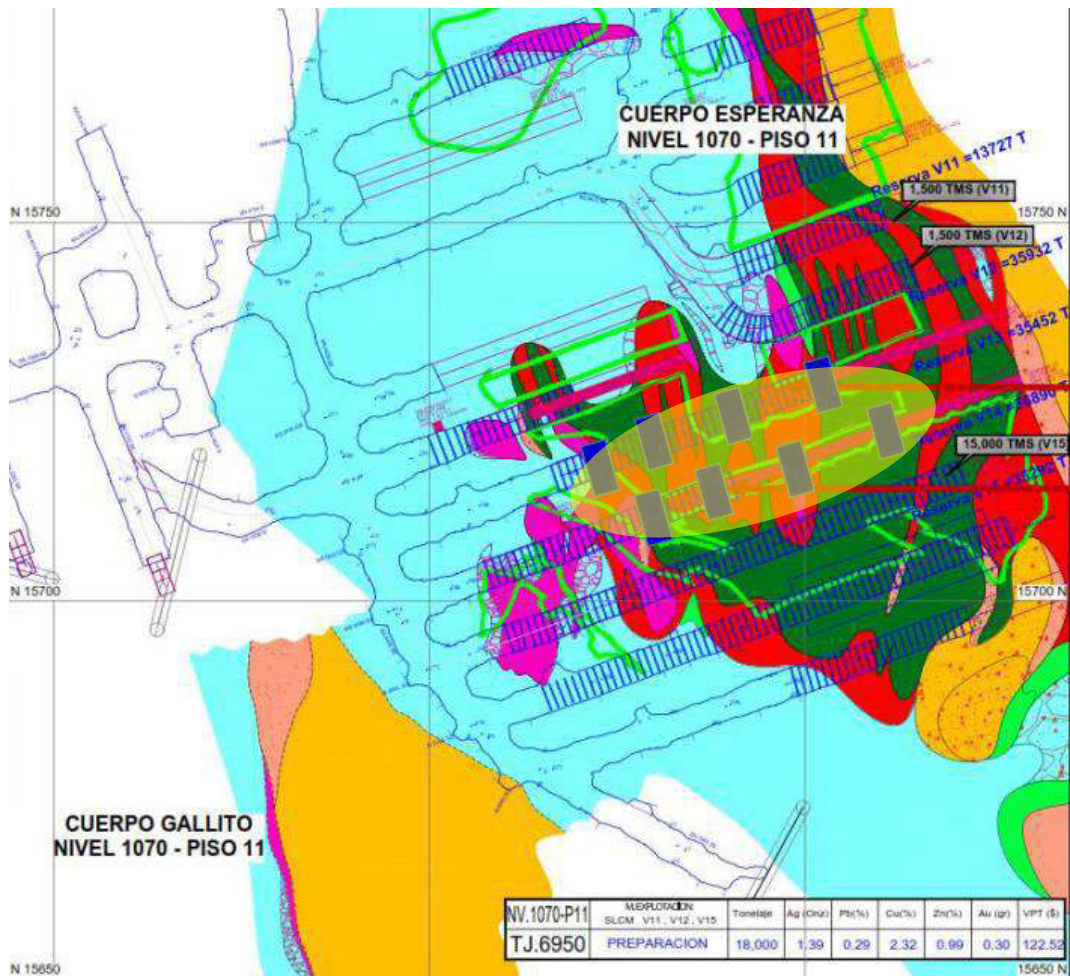


Fuente. Departamento de Planeamiento.

6.2.3. Estado del Nivel 1070, Vn 13 y 14 del Cuerpo Esperanza

Debido a que la litología en la mina Yauricocha está conformada en su mayoría por roca tipo IVA, en las labores más profundas se complica la estabilidad de excavación a pesar de la instalación de cimbras y cimbras de refuerzo a lo largo de los tajeos de explotación (ventanas), de acuerdo al estudio realizado en el software RS2 el factor de seguridad está por encima de 1 pero esto solo por un tiempo determinado, ya que los altos esfuerzos que son ejercidos directamente a las cimbras tienden a deformar y a converger nuestro sostenimiento, por lo tanto, nos vemos obligados a abandonar la labor.

Figura 87. Plano de las ventanas 13 y 14 del Nv. 1070.



Fuente. Departamento de Geología.

Figura 88. La presión vertical del macizo rocoso supera a las cimbras.





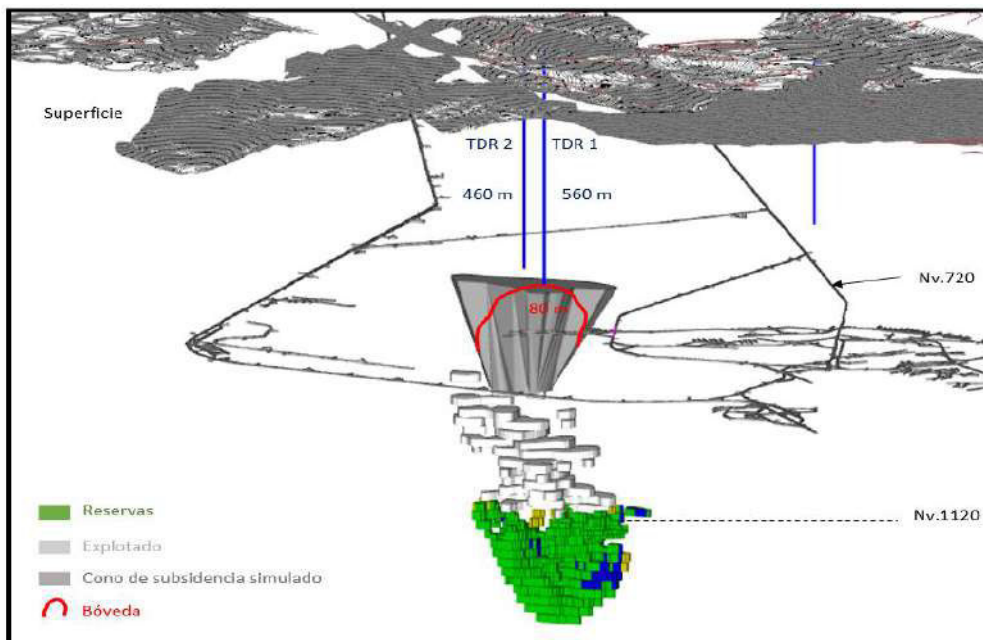
Fuente. Elaboración propia.

Como se observa en la figura superior, los esfuerzos superan la resistencia de las cimbras por lo que hace inaccesible a dichos tajeos, así mismo es un acto inseguro continuar con la explotación. En la zona de mineralización, las cimbras presentan una mayor deformación, por lo que se requiere una adecuada velocidad de minado para evitar pérdidas.

6.2.4. Situación actual del Cuerpo Esperanza

Emplazado en el contacto de roca caliza con roca intrusiva, el tipo de mineralización en este cuerpo es polimetálico y sulfuro de cobre; los minerales asociados a la mineralización polimetálica son: esfalerita, marmatita, galena y pirita. Los minerales asociados a la mineralización de cobre calcopirita, calcosina, covelina y pirita.

Figura 89. Cuerpo Esperanza.



Fuente. Elaboración propia.

En el cuerpo esperanza, los macizos rocosos de mala calidad geotécnica tanto para el mineral y las cajas con valores de Rock Mass Rating (RMR) menores a 25 en ambos casos que generan altos esfuerzos y deformaciones, que casi en forma inmediata empiezan a deformar extensivamente a las cimbras metálicas de sección 3.5 x 3.5 metros.

La altura de explotación ya va profundizando (una altura 342m desde el Nv. 870 p -11 y actualmente Nv. 1120 P-5; tiene una Potencia del cuerpo disturbado 92m y longitud del Cuerpo 247m) por hundimiento por subniveles.

Tabla 27. Características Geomecánicas de Cuerpo Esperanza.

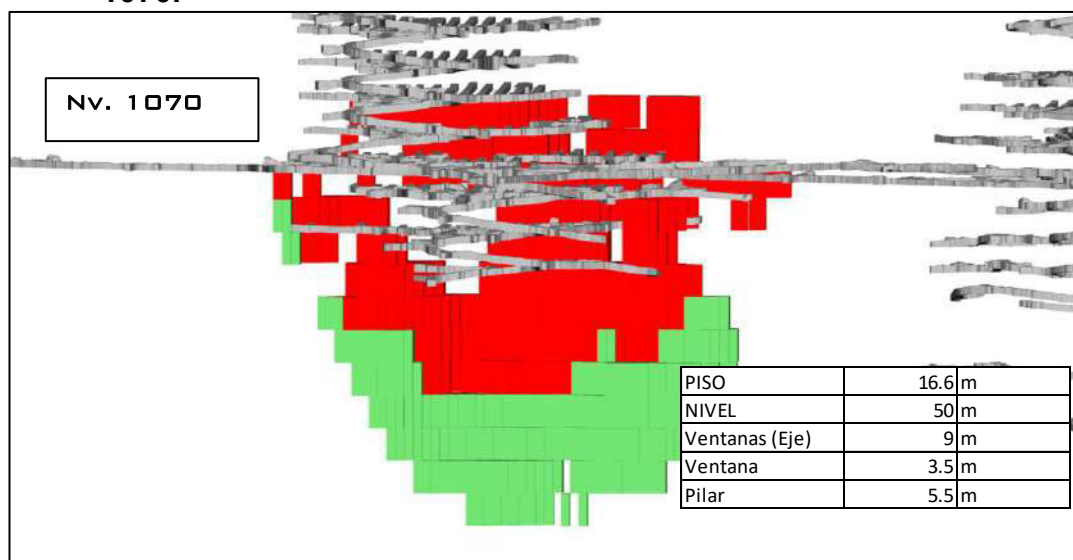
Características Geomecánicas de Cuerpo Esperanza		
ITEM	CARACTERÍSTICAS	
YACIMIENTO	Forma	Tabular
	Potencia	Promedio (50 - 72m)
	Orientación	Promedio (75° - 80°)
	Distribución de las leyes	Gradacional
MINERAL	Competencia de roca	Baja (Rc/Sv)
	Espaciamiento de fracturas	Intensamente fracturada (>20 f/m)
	Resistencia de estructuras	Muy baja (relleno suave)
CAJA TECHO	Competencia de roca	Baja (Rc/Sv)
	Espaciamiento de fracturas	Triturada y brechada (No tiene RQD aprox. 40m)
	Resistencia de estructuras	Muy baja (relleno suave)

CAJA PISO	Competencia de roca	Baja (Rc/Sv)
	Espaciamiento de fracturas	Fracturada (de 6 - 11 f/m)
	Resistencia de estructuras	Medio (con relleno de calcita marmolizada)

Fuente. Elaboración propia.

6.2.5. Modelo de reservas del Cuerpo Esperanza

Figura 90. Modelo de reservas Cuerpo Esperanza - debajo Nv. 1070.



Fuente. Departamento de planeamiento.

Tabla 28. Reservas Cuerpo Esperanza.

ZONA	MMI	CUERPO	NIVEL	PISO	Toneladas (t)	Ag (Oz/t)	Pb (%)	Cu (%)	Zn (%)	Au (gr/t)	NSR (\$r/t)	As (%)	Fe (%)
II					2,564,169	1.82	1.01	1.50	3.04	0.34	171.92	0.23	20.37
	SLCM				2,564,169	1.82	1.01	1.50	3.04	0.34	171.92	0.23	20.37
			11		124,143	1.91	0.78	1.35	2.10	0.42	148.44	0.19	23.23
			5		217,857	2.28	0.83	1.67	2.65	0.42	180.59	0.20	21.83
			0		204,417	1.82	0.73	1.49	2.37	0.42	158.32	0.19	22.18
		1170			718,312	1.59	0.89	1.51	2.53	0.41	160.72	0.20	21.63
			11		234,632	1.62	0.81	1.42	2.49	0.43	154.76	0.19	22.49
			5		241,967	1.70	1.04	1.62	2.83	0.41	175.12	0.21	21.47
			0		241,713	1.47	0.82	1.48	2.26	0.38	152.10	0.20	20.96
		1220			877,751	1.72	1.03	1.46	2.90	0.32	166.39	0.22	20.33
			11		306,925	1.61	0.89	1.42	2.50	0.34	154.98	0.20	21.24
			5		337,609	1.82	1.02	1.61	2.79	0.34	174.49	0.24	21.77
			0		233,217	1.72	1.25	1.30	3.58	0.25	169.68	0.22	17.03
		1270			382,296	2.13	1.54	1.50	5.04	0.20	211.97	0.34	15.90
			11		151,271	2.00	1.67	1.40	5.10	0.20	207.33	0.28	15.62
			5		133,270	2.17	1.54	1.59	5.15	0.21	219.23	0.35	16.10

0	97,756	2.27	1.36	1.53	4.81	0.19	209.24	0.40	16.05
1320	39,392	2.01	0.96	1.61	4.99	0.20	206.98	0.40	15.15
11	39,392	2.01	0.96	1.61	4.99	0.20	206.98	0.40	15.15
Total, general	2,564,169	1.82	1.01	1.50	3.04	0.34	171.92	0.23	20.37

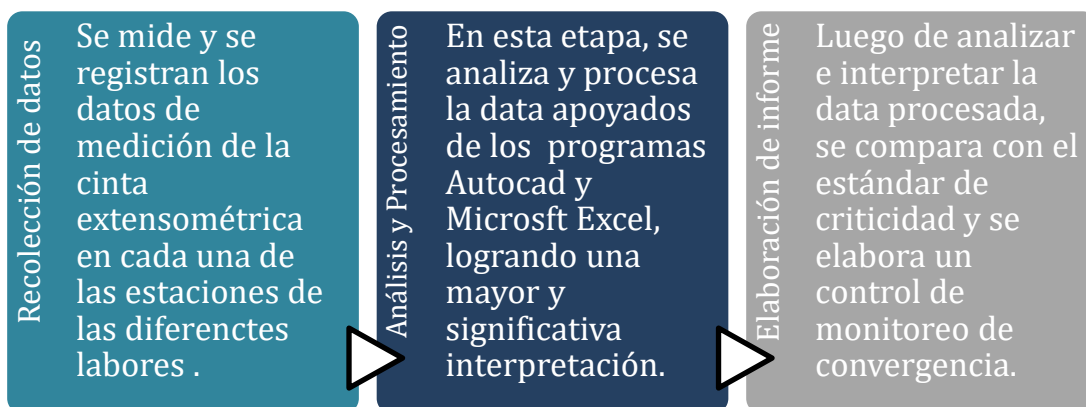
Fuente: Departamento de planeamiento.

6.2.6. Monitoreo de convergencia

La medición de convergencia se realiza empleando una cinta extensométrica, apoyándose en el uso del distanciómetro, las mediciones se realizan para determinar la deformación horizontal tanto como la vertical, instalándose puntos en los hastiales y la corona.

Para realizar un adecuado trabajo de monitoreo de convergencia se ejecuta lo siguiente:

Figura 91. Metodología de trabajo.



Fuente. Elaboración propia.

6.2.7. Estándar de deformación de las cimbras

Se ha establecido un estándar a seguir como referencia en base a las condiciones reales presentadas en las cimbras instaladas en la zona de explotación Esperanza, mina Central.

Tabla 29. Estándar de deformación de las cimbras, zona Esperanza.

Nivel de criticidad	Rango de deformación (m)		Condición	Medidas de acciones a tomarse
	De	Hasta		
Nivel 01	0.00	0.20	Tolerable	Continuar con el monitoreo según el programa.
Nivel 02	0.20	0.35	Medio	Incrementar la frecuencia de monitoreo de cimbras
Nivel 03	0.35	0.50	Critico	Se debe realizar una evaluación Geomecanica de la cimbra.
Nivel 04	>0.50		Muy crítico	Se debe tomar medidas correctivas previa evaluación geomecánico.

Fuente: Elaboración propia.

Los niveles de riesgo presentados en el cuadro anterior solo son aplicables para la zona de minado Esperanza y para cimbras instaladas en labores temporales, no debe ser empleado en labores fuera de las mencionadas.

Tomando como base los diferentes niveles de criticidad de las cimbras ha sido posible estimar los límites para la velocidad absoluta de deformación a tener en cuenta durante el análisis de deformación de las cimbras, siendo estas las siguientes:

Figura 92. Estándar de velocidad de deformación absoluta de las cimbras, zona Esperanza.



Fuente: Elaboración propia.

Los límites de velocidad absoluta de deformación presentados en la figura anterior solo son aplicables para la zona de minado Esperanza y para cimbras instaladas en labores temporales, no debe ser empleado en labores fuera de las mencionadas.

- **Comportamiento típico de cimbras, Nv.1070, Cuerpo Esperanza**

La curva de comportamiento típico de una cimbra es determinada al graficarse el tiempo versus la velocidad de desplazamiento lateral (VDL), información que se encuentra en los registros cronológicos de las mediciones realizadas por el área de geomecánica.

Tabla 30. Relación de cimbras monitoreadas.

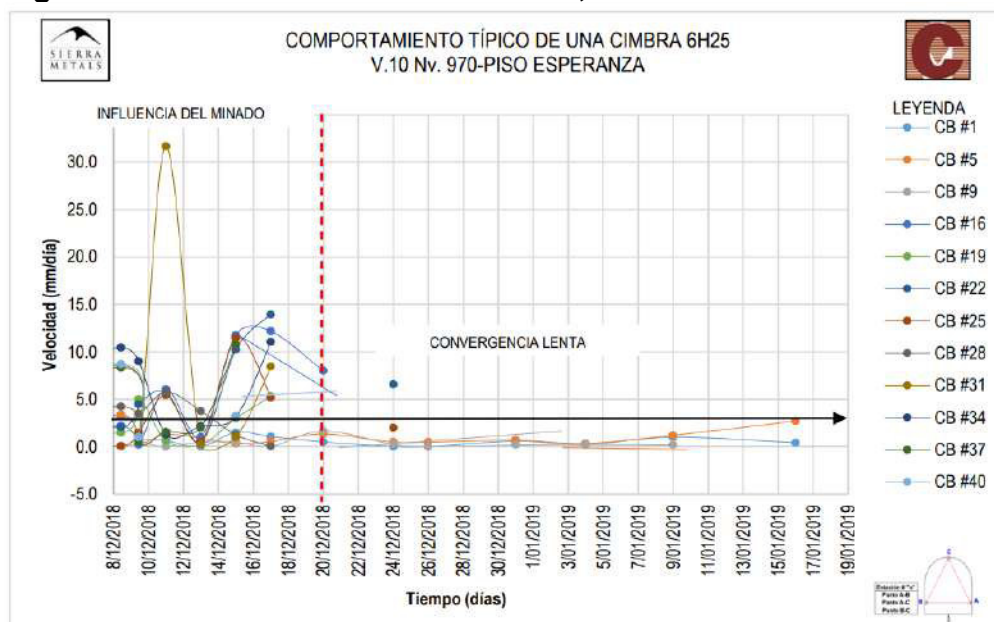
Labor	Nivel	Zona	Tipo de Cimbra
Ventana 09	970 - Piso	Esperanza	H6
Ventana 10	970 - Piso	Esperanza	H7
Ventana 11	970 - Piso	Esperanza	H8
Crucero 4650	970 - Piso	Esperanza	H9

Fuente: Elaboración Propia.

Para un mayor detalle de la ubicación de las estaciones de monitoreo de convergencia ver el plano: Ubicación de estaciones de convergencia: Nv.970 – Piso, Esperanza.

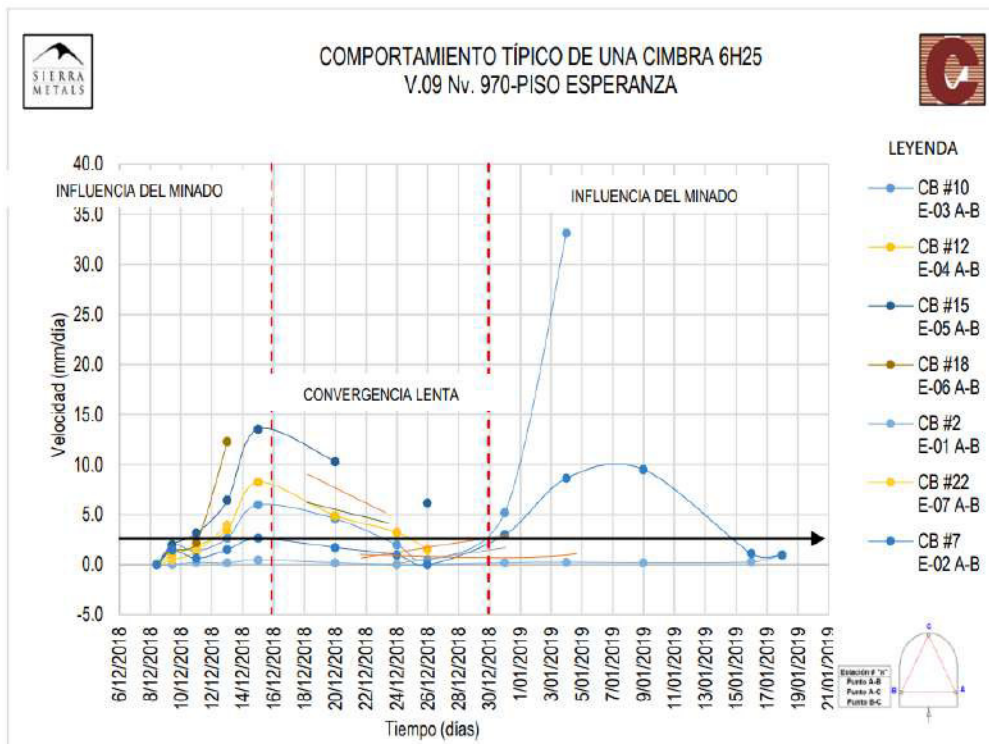
A continuación, se muestran las curvas de comportamiento típico para las cimbras H6 instaladas en el nivel 970-Piso, Esperanza.

Figura 93. Monitoreo de la Ventana 09, Nv.970-Piso.



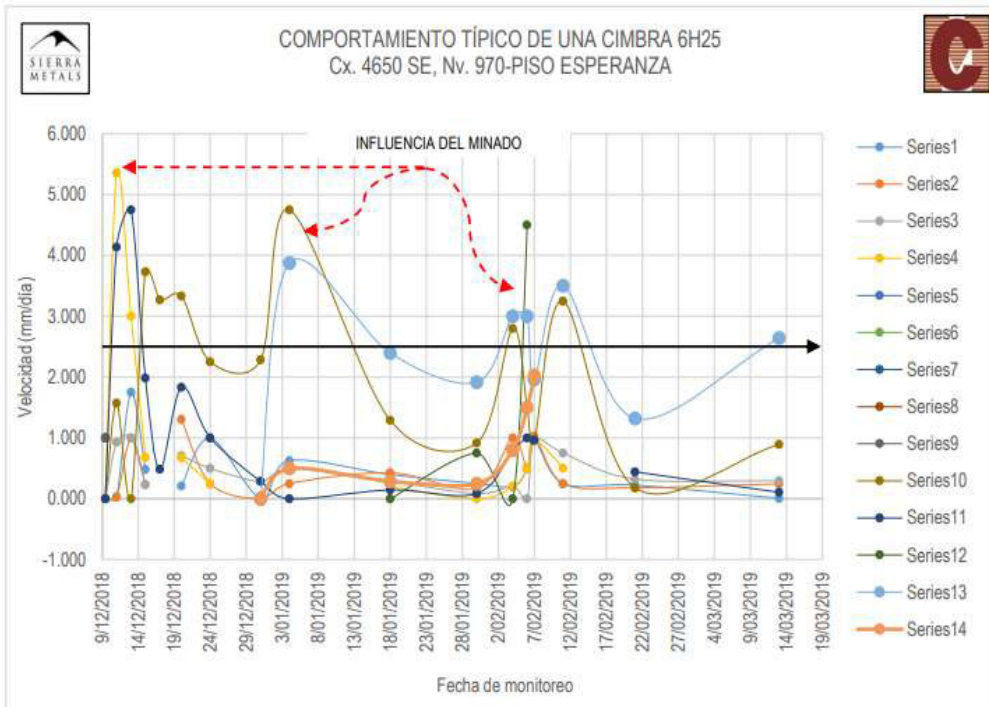
Fuente. Elaboración propia.

Figura 94. Monitoreo de la Ventana 10, Nv. 970-Piso.



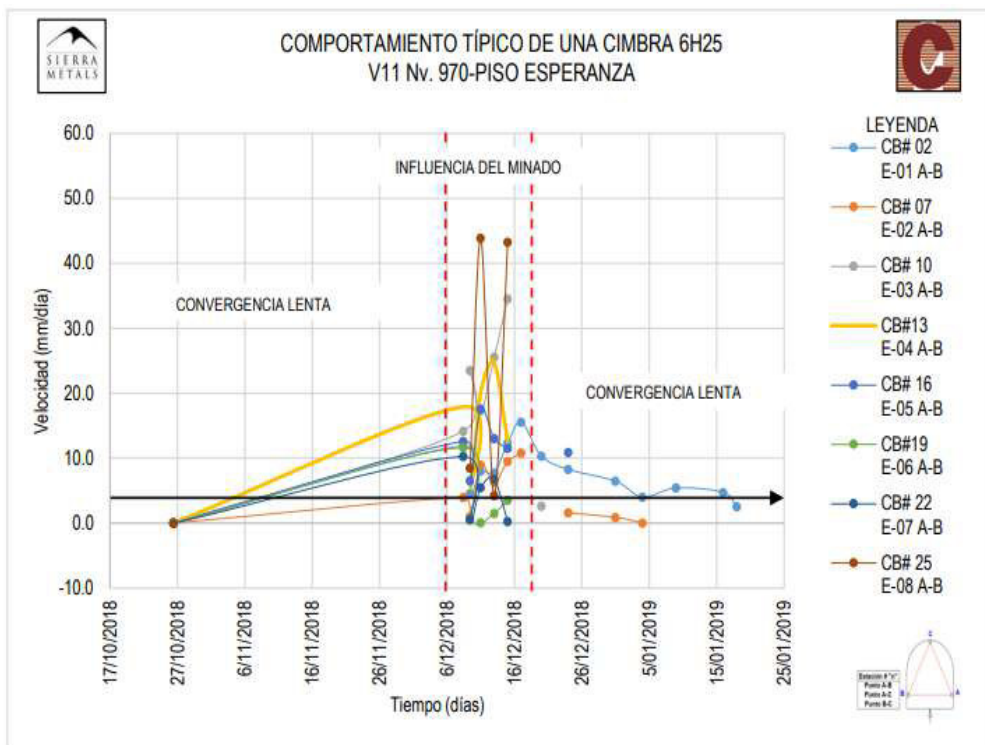
Fuente. Elaboración propia.

Figura 95. Monitoreo de la Ventana 11, Nv. 970 - Piso.



Fuente. Elaboración propia.

Figura 96. Monitoreo del crucero 4650 SE, Nv.970 - Piso.



Fuente. Elaboración propia.

➤ Interpretación de las curvas de comportamiento

De las gráficas se observan 2 etapas bien definidas. Etapa de convergencia lenta y de convergencia por influencia del minado, sumada a estas 2 se encuentra la etapa de convergencia rápida ubicada entre la instalación de la cimbra y la estabilización de las deformaciones llamada etapa de convergencia lenta. De las observaciones realizadas en campo, la convergencia inicial o convergencia rápida es responsable del deterioro inicial de las cimbras, siendo la etapa de convergencia por influencia del minado la encargada de llevar a las cimbras a su punto de falla. Para detalle del monitoreo de convergencia.

6.2.8. Diseño del Arco Peruano

Teniendo en cuenta la recomendación geomecánica para el Nv. 1070, piso 05, en la fortificación para el minado del cuerpo esperanza. En el piso 05, esta es la oportunidad para fortificar con Arco Peruano para dar respuesta a la alta concentración de esfuerzos y carga muerta sobre el techo de las ventanas de preparación,

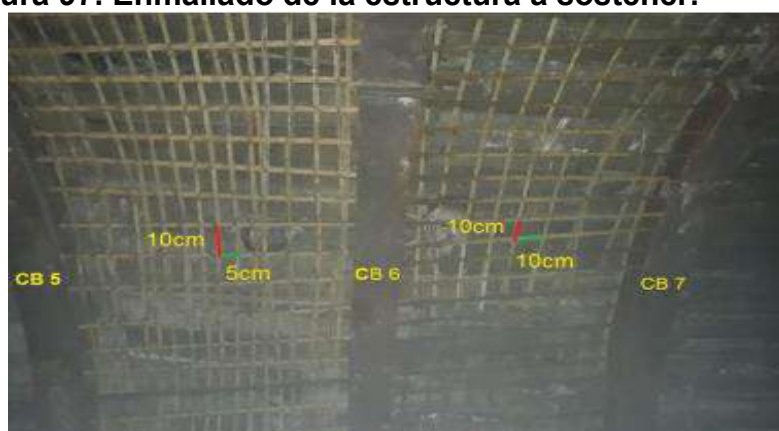
reforzando con Arco Peruano habrá posibilidad de recuperar al 100% del mineral de las ventanas, como sigue:

➤ **Estructura y Aplicación del Arco Peruano**

Los fierros utilizados en la estructura tienen las siguientes características:

- Los fierros en posición vertical son de 5/8 plg.
- Los fierros en posición horizontal son de 1/2 plg.

Figura 97. Enmallado de la estructura a sostener.



Fuente. Elaboración propia.

Se realiza una excavación de 50 cm x 50 cm en el que estará alojado la estructura de la cimbra H6 tal como se muestra en la siguiente figura:

Figura 98. Excavación de 50cm x 50cm.



Fuente. Elaboración propia.

A continuación, se detallan las dimensiones de las excavaciones diseñados para colocar la estructura de concreto que sirvan como soporte o cuñas a los esfuerzos laterales de las cimbras.

Figura 99. Dimensiones para coloca estructura de concreto.



Fuente. Elaboración propia.

6.2.9. Diseño de mezcla utilizado en el lanzado

La ilustración representa el diseño que ha sido implementado en el proyecto actual. Este diseño de mezcla fue utilizado con el propósito de alcanzar una resistencia de 40 MPa a los 28 días en el lugar mismo del proyecto ejecutado. Además, es importante mencionar que los resultados de resistencia de este diseño de mezcla ya han sido obtenidos en la planta de producción.

- Resistencia a 3 días – 414 kg/cm² (41.4 Mpa)
- Resistencia a 14 días – 529 kg/cm² (52.9 Mpa)

Figura 100. Diseño de mezcla y resistencia.

SOCIEDAD MINERA CORONA S.A					
Objetivo	SMC	Objetivo	SMC	Objetivo	SMC
Batería	L3	Batería	P3	Batería	P4
Fecha ejecucion	15-dic	Fecha ejecucion	19-dic	Fecha ejecucion	02-ene
Tipo Hormigón	shotcrete	Tipo Hormigón	shotcrete	Tipo Hormigón	shotcrete
Diseño Especial		Diseño Especial		Tipo Cemento Andino I	
Tipo Cemento	Andino I	Tipo Cemento	Andino I	Tipo Cemento	Andino I
Cemento	425	Cemento	425	Cemento	425
Arena 0-10	1639	Arena 0-10	1639	Arena 0-10	1639
Fibra	30	Fibra	30	Fibra	30
Agua	172	Agua	174	Agua	174
Superficie	Laboratorio	Planta	920		
% de aditivo utilizado		% de aditivo utilizado		% de aditivo utilizado	
Código Diseño	A	Código Diseño	A	Código Diseño	A
Aditivo 1 dosis	VIZCOCR 0.697	Aditivo 1 dosis	VIZCOCR 0.697	Aditivo 1 dosis	VIZCOCR 0.697
Aditivo 2 dosis		Aditivo 2 dosis		Aditivo 2 dosis	
Tº Ensayo	6 °C	Tº Ensayo	?	Tº Ensayo	?
Tº Hormigón	10.5 °C	Tº Hormigón	?	Tº Hormigón	?
Mantenion de la mezcla		Mantenion de la mezcla		Mantenion de la mezcla	
Slump	10 1/2"	Slump	8 3/4"	Slump	9"
00:30		00:30		00:30	
01:00		01:00		01:00	
01:30		01:30		01:30	
02:00		02:00		02:00	
Bares	?	Bares	?	Bares	?
RELACION A/C	0.405	RELACION A/C	0.409	RELACION A/C	0.409
F C kg/cm2		F C kg/cm2		F C kg/cm2	
R1		R1	409	R1	419
R3	220	R3		R3	
R7		R7	26-dic	R7	09-ene
R14	315	R14	529	R14	16-ene
R28	12-ene	R28	16-ene	R28	30-ene
Legenda: Bateria L, P, S Se utiliza para diferenciar la ubicación del ensayo (Laboratorio), (Planta), (In Situ) y los numeros que acompañan identifican la cantidad de ensayos realizados. Codigo diseño A, B, C Se utiliza para diferenciar el tipo de diseño utilizado (A, diseño especial 425kg/m3), (B, diseño estandar 400kg/m3), (C, diseño coveniente 380kg/m3) Trimestralmente se realizara un diseño completo Laboratorio, planta, In situ, posterior a ello los controles se realizaran solo In situ. Celeste Diseño estandar el que se usa actualmente Verde Diseño especial para Cique y Cimbras					

DISEÑO
MEZCLA

RESISTENCIA
3 Y 14 DIAS

Fuente. Elaboración propia.

Según características geomecánicas corresponde a la zona mineralizada. De acuerdo a la información previamente mencionada, la calidad de la masa de roca en esta unidad se clasifica como deficiente (IVB) con un índice RMR en el rango de 21 a 25, según la clasificación RMR de Bieniawski.

El proceso de proyección de concreto se llevó a cabo en dos fases. La primera fase consistió en aplicar un grosor aproximado de 3 pulgadas hasta cubrir completamente la estructura del enmallado, tal como se ilustra en la figura 56. La segunda fase consistió en esperar alrededor de 10 minutos para permitir que la mezcla se endureciera ligeramente, y después de este período se aplicó una capa final mediante proyección para cubrir el espesor total del encofrado, que es de 6 pulgadas.

Figura 101. Lanzado de Shotcrete sobre las cimbras y en enmallado.



Fuente. Elaboración propia.

Figura 102. Estructura y enmallado del Arco Peruano.



Fuente. Elaboración propia.

Figura 103. Arco Peruano instalado en tajeo de explotación (ventana).



Fuente. Elaboración propia.

Simulación del diseño de lanzamiento de concreto sobre cimbra

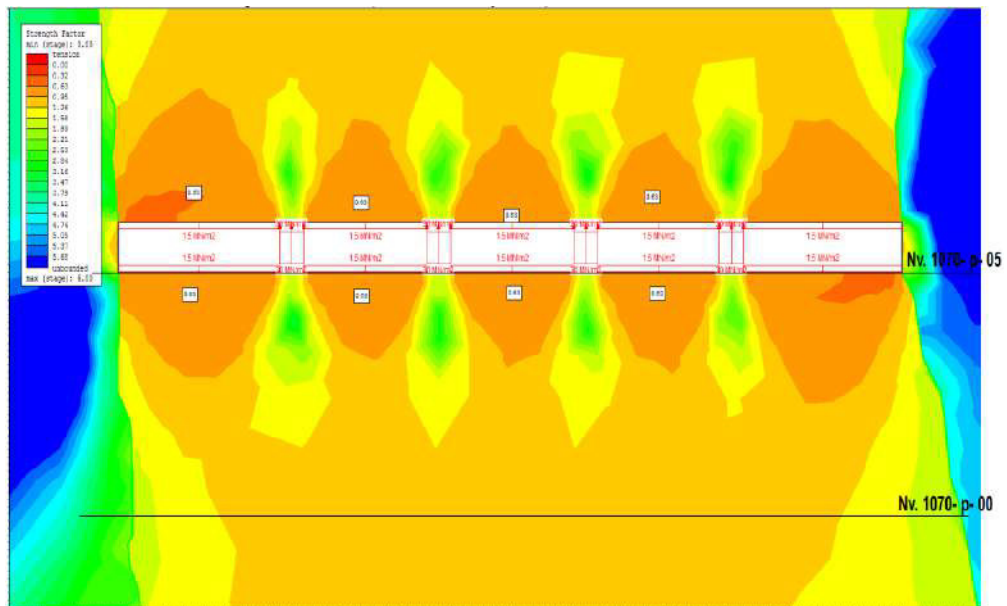
Según el análisis tenso – deformacional con el software rs2 del paquete rocscience, se aprecia en la figura la simulación con Arco Peruano con una resistencia de 320 kg/cm² a 28 días insitu, estos Arcos Peruano van instalados cada 10 metros para asegurar el incremento del factor de seguridad >1 en las ventanas.

Figura 104. Análisis de tensión y deformación en el software RS2.



Fuente. Elaboración propia.

Figura 105. Análisis de tensión y deformación en el software RS2.



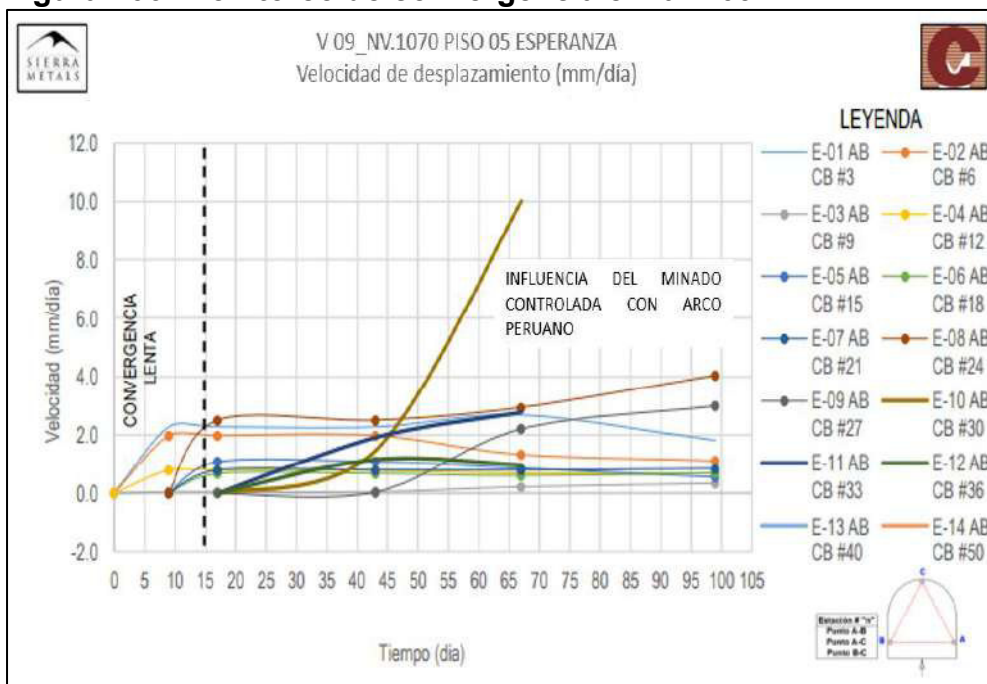
Fuente. Elaboración propia.

El análisis realizado en el Nv.1070 Piso 05, se puede apreciar que el factor de seguridad se incrementa, siendo este el sostenimiento más eficaz en las ventanas para la recuperación del mineral en su totalidad según lo planificado. El Arco Peruano presenta una resistencia de 320kg/cm³, cada 10 metros, una gran alternativa para evitar la deformación de las cimbras aledañas a las cubiertas con shotcrete.

6.2.10. Monitoreo de convergencia en el Arco Peruano

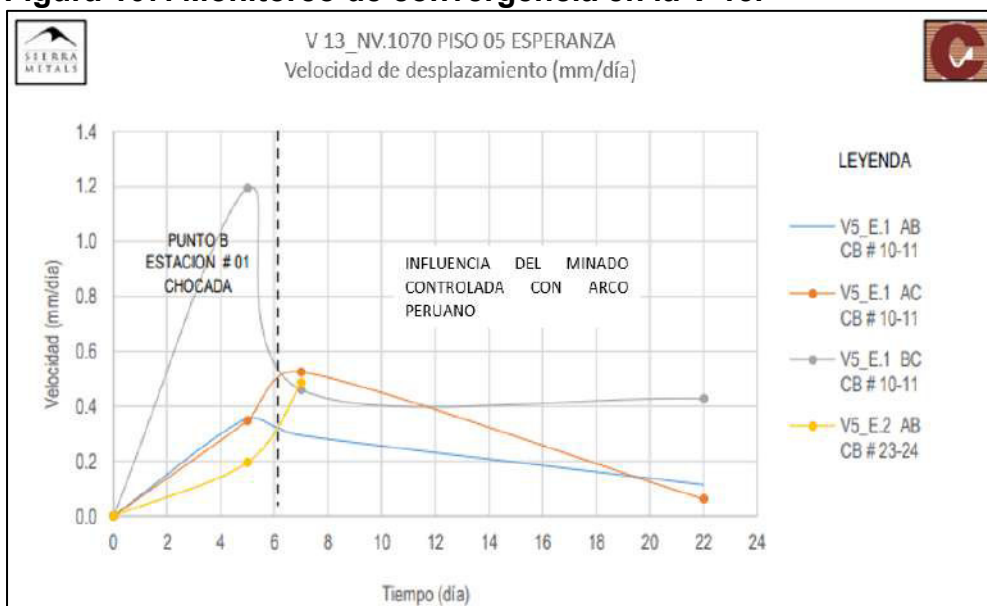
Considerando una data de 99 días desde: 28/09/2020 al 06/12/2020, la velocidad de desplazamiento se mantiene por debajo del nivel 04, según el estándar de criticidad; sin embargo, 2 a 3 cimbras que se encuentran al frente de la explotación sufren una deformación a una altura de 0.50 a 0.90 cm en el hastial, la deformación es producto de la influencia de minado.

Figura 106. Monitoreo de convergencia en la V 09.



Fuente. Elaboración propia.

Figura 107. Monitoreo de convergencia en la V 13.



Fuente. Elaboración propia.

Por lo tanto, según el monitoreo de convergencia la instalación de Arco Peruano cada 10 metros dio buenos resultados hasta culminar el minado, minimizando la velocidad de desplazamiento para que finalmente la duración de las ventanas supere el tiempo que lleva el minado.

6.3. Pruebas de Hipótesis

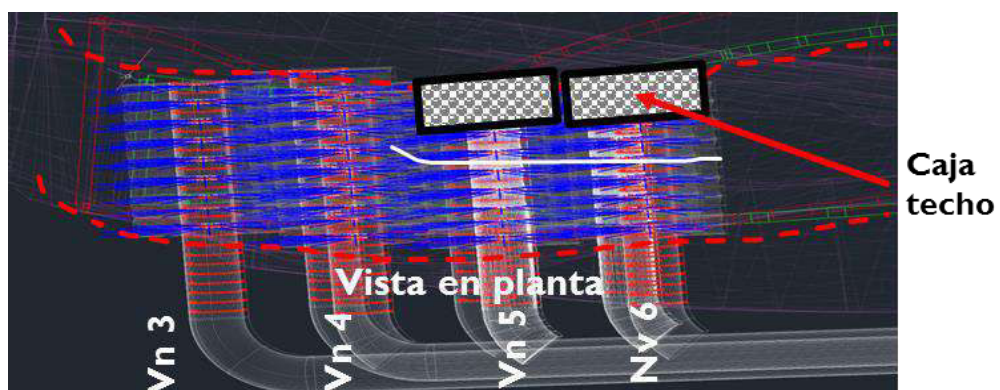
En la presente investigación que he analizado exhaustivamente, en el minado de Sub Level Caving del Cuerpo Esperanza en el cual hay altos esfuerzos que deforman las cimbras fácilmente, por lo tanto, para analizar e investigar las condiciones de los tajeos de explotación (ventanas), se ha realizado diversos estudios tales como investigaciones geomecánicas básicas, ensayos de laboratorio, análisis en los softwares Dips, rs2, Unwedge y Map 3D, diseño del ancho de los pilares para mayor estabilidad, análisis del cono de subsidencia, el sostenimiento con cimbras y su deformación, así mismo, haber estudiado el proyecto que realizó la empresa para la explotación del cuerpo en niveles más profundos en el cual estoy participando hasta la fecha.

6.3.1. Hipótesis general de la investigación

Es posible optimizar el sistema de sostenimiento con Arco Peruano en el minado Sub Level Caving de altos esfuerzos en Mina Yauricocha – Sierra Metals.

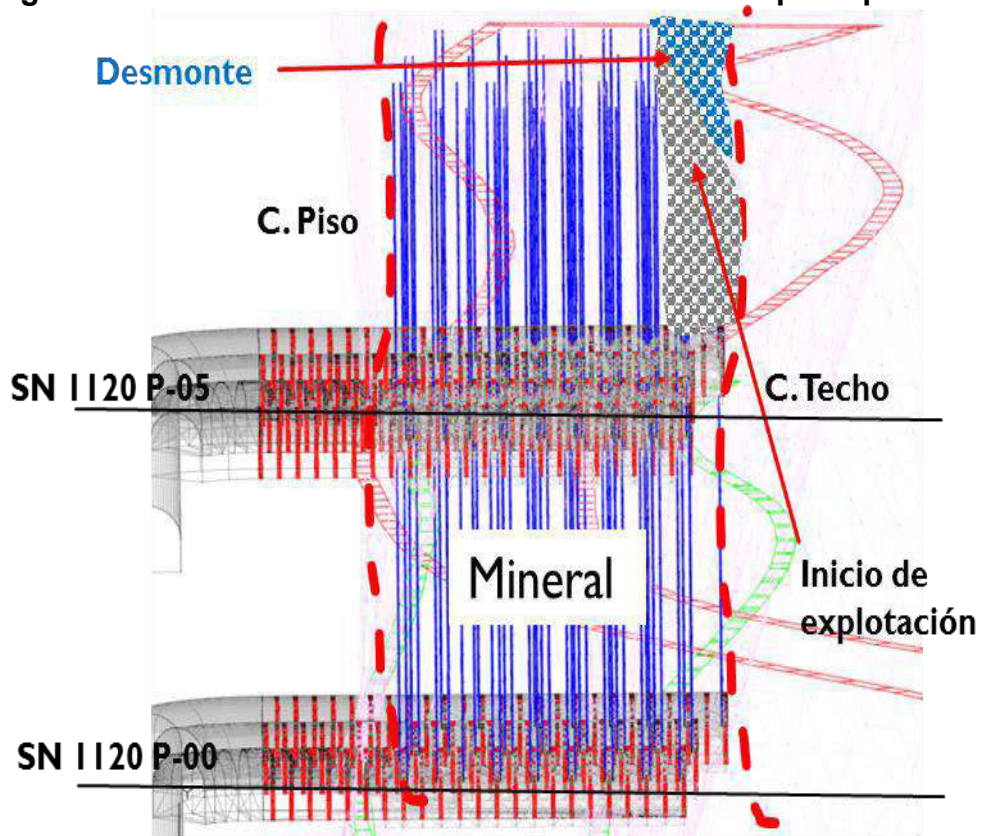
Al tener en cuenta la hipótesis general, se tiene la prueba realizada que demuestra la hipótesis explicada y que se está cumpliendo el objetivo. A continuación, se muestran figuras en las que se observa el minado del Cuerpo Esperanza en el que se optimizó el sistema de sostenimiento con Arco Peruano y se ha logrado recuperar el mineral en su totalidad, llegando cerca al 100%.

Figura 108. Vista en planta del minado del Cuerpo Esperanza.



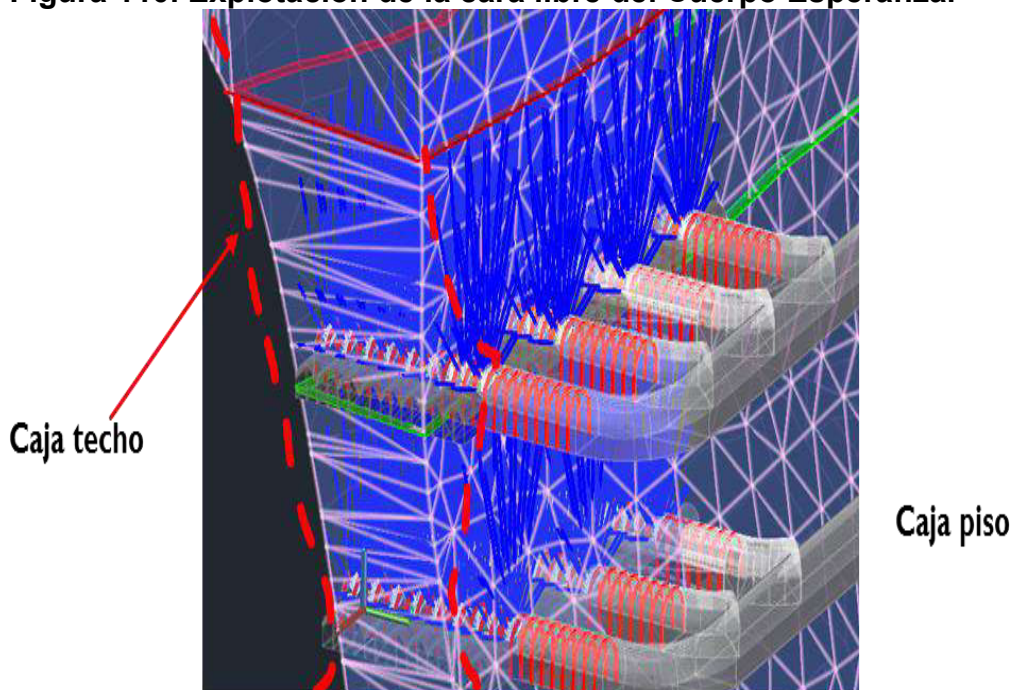
Fuente. Elaboración propia.

Figura 109. Sección transversal del minado del Cuerpo Esperanza.



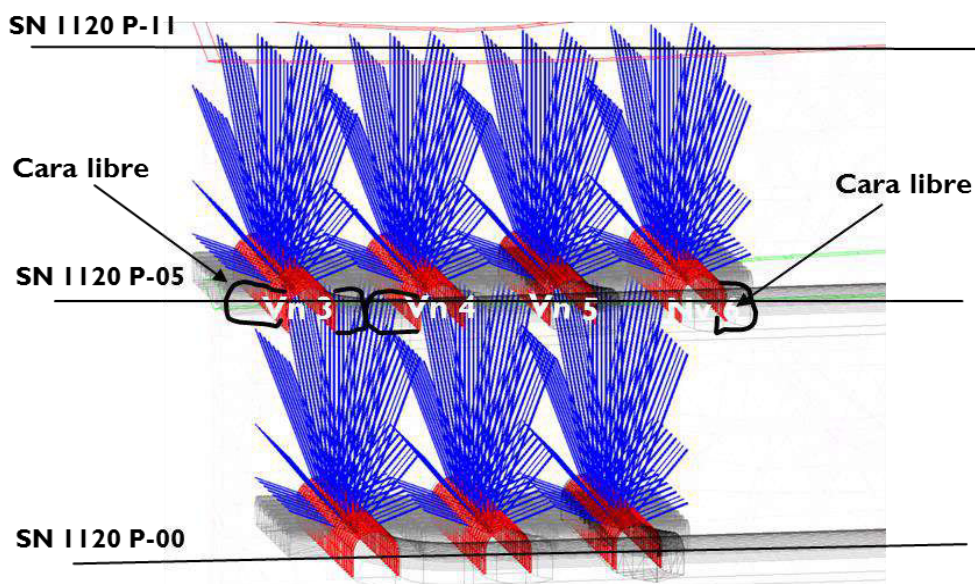
Fuente. Elaboración propia.

Figura 110. Explotación de la cara libre del Cuerpo Esperanza.



Fuente. Elaboración propia.

Figura 111. Taladros de producción en el minado del Cuerpo Esperanza.

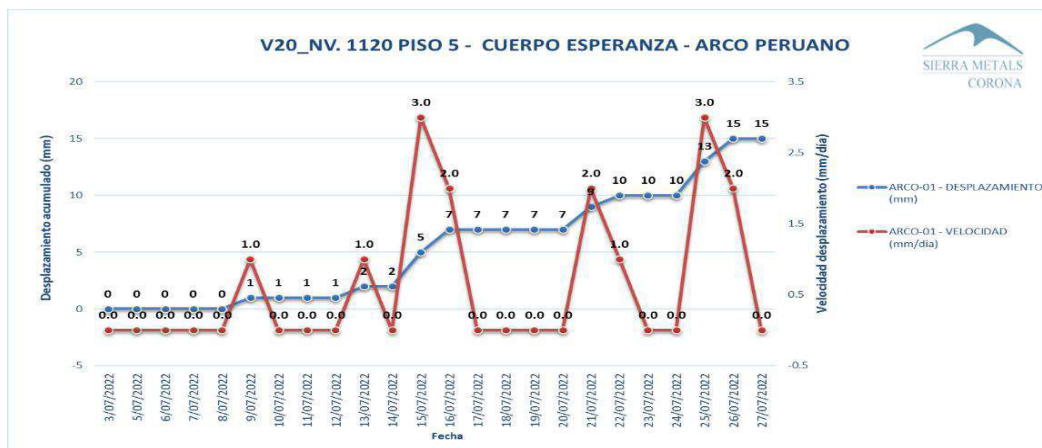


Fuente. Elaboración propia.

Por lo tanto, la dilución de los costados, techo y del frente será mínimo porque el sostenimiento con Arco Peruano nos asegura mayor tiempo de duración de las ventanas, reduciendo la deformación de las cimbras aledañas al Arco Peruano y nos da el tiempo necesario para

extraer el mineral según lo planificado, asegurando la recuperación al 98.5% debido a que el sub vertical.

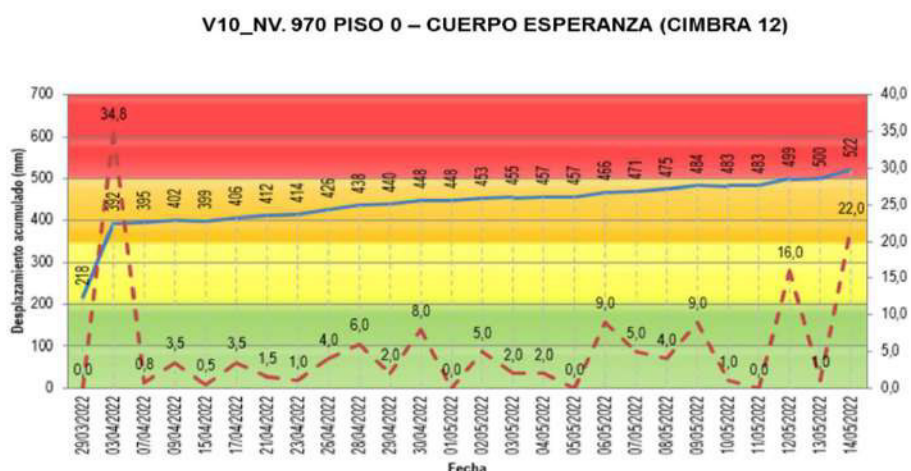
Figura 112. Monitoreo de convergencia del Arco Peruano - Nv.1120 Piso 5 Cuerpo Esperanza.



Fuente. Elaboración propia.

Como se observa en la figura 111, el sostenimiento con Arco Peruano actúa de manera eficaz y eficiente ante la acumulación de esfuerzos debido al cono de subsidencia y a la profundidad. El monitoreo evidencia que tanto la velocidad de desplazamiento y el desplazamiento acumulado es menor a lo que es en ventanas sin la aplicación del Arco Peruano.

Figura 113. Monitoreo de convergencia de Cimbra 12 - Nv.970 Piso 0 Cuerpo Esperanza.



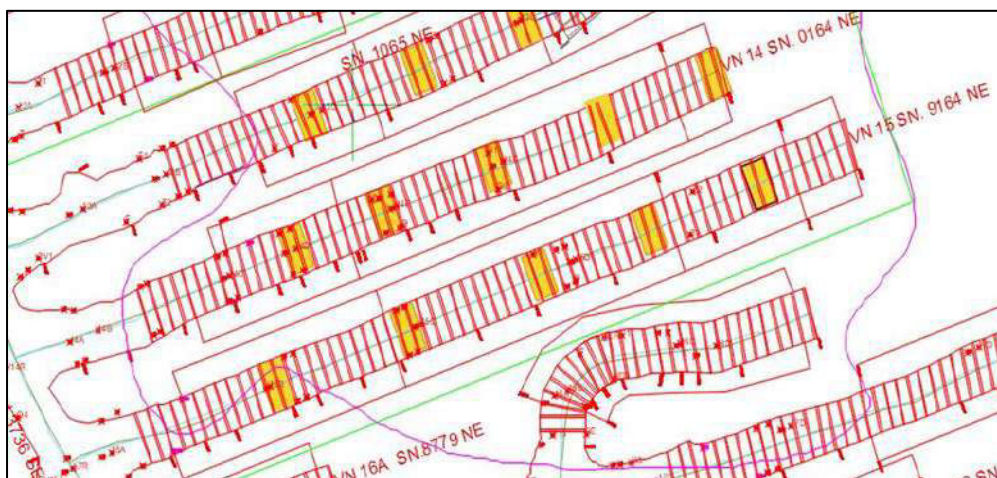
Fuente. Elaboración propia.

Como se observa en la figura 112, el monitoreo de convergencia evidencia que cuando no hay una instalación de Arco Peruano las cimbras tienen mayor deformación de lo esperado y posterior a ello las ventanas tienen mayor exposición a los esfuerzos lo que genera que se abandone la labor producto de un colapso. Por lo tanto, se ha probado la hipótesis en la que sí es posible la optimización del sistema de sostenimiento con Arco Peruano.

6.4. Presentación de resultados

Habiéndose culminado con la investigación, se ha obtenido resultados positivos correspondiente a la optimización del sistema de sostenimiento con el Arco Peruano en el minado de Sub Level Caving (SLC) de altos esfuerzos de la Mina Yauricocha – Sierra Metals, se logró los objetivos trazados al inicio de la presente investigación. A continuación, se presenta los resultados aplicados a las ventanas 14 y 15 del Piso 05 en el Nv. 1070.

Figura 114. Nv. 1070 - V 14 & 15 Piso 05 - Cuerpo Esperanza.



Fuente. Elaboración propia.

Tabla 31. Tonelaje, NSR y valor económico de la V 14&15.

Cuerpo	Nivel	CLASS2	PISO	VENTANA	TON	NSR(\$/TM)	VALOR (\$)
Esperanza	SOBRE 1120	MEDIDO	5	14	33,278	94.83	3,155,722.16
Esperanza	SOBRE 1120	MEDIDO	5	15	31,353	96.23	3,017,220.15

Fuente: Elaboración propia.

Realizando el análisis de costo en el caso de aplicar el sostenimiento con cimbras y cimbra de refuerzo, se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 32. Costo de sostenimiento con cimbras de refuerzo en la V14&15 - Nv. 1070 en el Cuerpo Esperanza.

Ventana	Long. Minado	Cimbras	Costo	Costo total	Cimbras adicionales	Costo	Costo adicional	Costo Final
Vn	metros	Unid. /Vn	\$/Cimbra	U\$	Unid. /Vn	\$/Cimbra	\$	U\$
14	40	40	1,974	78,960	16	1,974	31,584	110,544
15	50	50	1,974	98,700	20	1,974	39,480	138,180

Fuente: Elaboración propia.

El valor total en ambas ventanas llega a un total de U\$ 248,724.

Tabla 33. Costo de sostenimiento con Arco Peruano en la V14&15 - Nv. 1070 en el Cuerpo Esperanza.

Ventana	Long. Minado	Cimbras	Costo	Costo total	Nro. Arcos	Costo	Costo adicional	Costo Final
Vn	metros	Unid. /Vn	\$/Cimbra	U\$	Unid. /Vn	\$/Arco	U\$	U\$
14	40	40	1,974	78,960	5	5,574	27,870	106,830
15	50	50	1,974	98,700	5	5,574	27,870	126,570

Fuente: Elaboración propia.

El valor total en ambas ventanas llega a un total de U\$ 233,400.

Tabla 34. Ahorro en costo de sostenimiento.

Ventana	Costo con Arco Peruano	Costo con Cimbra refuerzo	Diferencia
Vn	U\$	U\$	U\$
14	106,830	110,544	3,714
15	126,570	138,180	11,610

Fuente: Elaboración propia.

Por lo tanto, de acuerdo con el análisis en la ventana 14 hubo un ahorro de U\$ 3,714 y en la ventana 15 se tiene U\$ 11,610 ahorrado, esto genera mayor rentabilidad a la empresa.

CAPITULO VII: IMPACTOS

7.1 Propuestas para la solución del problema

Se sabe que una de las mayores amenazas para la vida de la Mina Yauricocha es que con la profundización y el cono de subsidencia todos los esfuerzos se centran en aquellas labores de explotación (ventanas) por lo tanto nos genera mayor desestabilidad y con gran incertidumbre de poder explotar y recuperar el mineral. Por lo tanto, la propuesta principal es:

- Optimización del sistema de mina con Arco Peruano (cimbras metálicas instalas + estructura de concreto de alta resistencia).

Propuestas secundarias:

- Instalación de cimbras cada 50 cm para evitar la convergencia de estas.
- Ampliar el ancho de los pilares e incrementar la altura de banco entre ventanas para incrementar el factor de seguridad y la vida de los tajeos.

- Instalación de arriostres (son elementos de acero que van soldados de cimbra a cimbra) al igual que las cimbras de refuerzos esto nos puede ayudar a incrementar la estabilidad.
- Instalación de tresillón, (elementos de acero que van instalados con pernos y tuercas de cimbra a cimbra) similar a los arriostres incrementa el factor de seguridad.

7.2 Costos de implementación de la propuesta

En el siguiente cuadro se muestra el costo de instalación de las cimbras de acero en una longitud de 10 metros de minado que es de 27,632 U\$ que incluye la instalación de 4 cimbras adicionales nuevas para el reemplazo de aquellas dañadas por los esfuerzos. Con el uso del Arco Peruano para la misma longitud de minado se tiene un costo de 25,311 U\$ lo que nos indica un ahorro de 2,320 U\$ por cada 10 metros de longitud de minado.

Tabla 35. Costo de sostenimiento con cimbras y cimbras de refuerzo.

Longitud de Minado	Cimbras H6	Costo/Unidad	Costo Total	Cimbras Adicionales	Costo Adicional	Costo Final
metros	Unidades	U\$	U\$	Unidades	U\$	U\$
10	10	1,974	19,737	4	7,895	27,632

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 36. Costo de sostenimiento con Arco Peruano en 10m de minado.

Longitud de Minado	Cimbras H6	Costo/Unidad	Costo Total	Arco Peruano	Costo Arco Peruano	Costo Final
metros	Unidades	U\$	U\$	Unidades	U\$	U\$
10	10	1,974	19,737	1	5,574	25,311

Fuente: Elaboración propia.

Según la tabla mostrada del Arco Peruano además de generar una reducción de costos de sostenimiento nos ofrece un factor de seguridad >1.2 .

7.3 Beneficios que aporta a la propuesta

El sistema de sostenimiento que se implementó a lo largo de la investigación dio buenos resultados realmente más de lo esperado, el diseño propuesto es una gran oportunidad para seguir explotando las zonas más profundas de la Mina Yauricocha, el arco peruano nos ofrece los siguientes beneficios.

- El Arco Peruano es un elemento de sostenimiento diseñado para condiciones de altos esfuerzos a bajos costos, es muy versátil y este tipo de sostenimiento nos genera una reducción de costos y el tiempo de instalación es menor que instalar cimbras de refuerzos a lo largo de la ventana de producción.
- Con respecto a la seguridad nos beneficia ampliamente porque la labor está con un factor de seguridad por encima de >1.22 lo cual nos permite generar mayor confiabilidad al momento de que los trabajadores y operadores de equipos realicen sus labores y minimiza los riesgos.
- Mejora el tránsito de los equipos LHD y de perforación debido a que la convergencia por los altos esfuerzos es menor.
- El arco peruano es de gran ayuda y es óptimo porque gracias a esa implementación la vida de las ventanas es mayor de lo esperado que por lo tanto nos permite seguir explotando la estructura mineralizada según lo planificado.
- El diseño de arco peruano tiene una abertura de un metro de longitud, lo cual nos permite tener un desfogue o drenaje de agua subterránea que se filtra por las rocas intrusivas.
- Nos permite seguir en profundización sin la incertidumbre de recuperar el mineral que se podría perder en caso de un derrumbe o un cierre crítico de la ventana debido a los altos esfuerzos.

CONCLUSIONES

- El Arco Peruano es un elemento de sostenimiento estructural que controla de forma efectiva los esfuerzos producidos por el minado masivo Sub Level Caving y su performance superior a las cimbras de acero que permite reducir los costos de sostenimiento al recudir la instalación de cimbras dañadas por los esfuerzos además que evita la paralización de la extracción de mineral que es necesaria para la instalación de las nuevas cimbras de refuerzo. El Cuerpo Esperanza efectivamente es una estructura mineralizada de gran potencial para generar un incremento considerable de la Mina Yauricocha, se concluye que para extraer el mineral será necesario la instalación del Arco Peruano espaciados a 8m – 10m de acuerdo al análisis numérico con Map 3D y Rs2, el tiempo expuesto de Arcos que supera los 102 días.
- La optimización del sistema de sostenimiento dio buenos resultados, el Arco Peruano llega a los 28 días insitu a un total de 540 kg/cm² de resistencia, nos asegura un óptimo sostenimiento en las ventanas. El cuerpo mineralizado esperanza debido a la profundidad de su génesis el mineral ya casi estaba perdido ya que los cimbras no soportaban lo suficiente, pero gracias a la investigación para poder soportar los grandes esfuerzos se diseñó los Arcos Peruano y se logró recuperar dos ventanas importantes de 70m de largo, por lo tanto, se recuperó 64k toneladas valorizados en \$6.1 millones, con esta demostración se da una solución para recuperar en niveles profundos y así continuar con la explotación, en este caso para discriminar los esfuerzos a esa profundidad se determinaron los esfuerzos en los pilares conociendo las propiedades físico – mecánico de rocas.

RECOMENDACIONES

- Tener los parámetros y/o datos exactos es indispensable para el modelamiento en los softwares tales como el rs2 del paquete rocscience y el Map3D porque solo así estas herramientas tecnológicas de cómputo llegarán a un análisis más preciso para poder llegar a una conclusión más exacta y tomar decisiones. Para las minas que se están explotando por el método de hundimiento se recomienda mayor énfasis en el control de la subsidencia, debido a que este es el factor más importante para la acumulación de muchos esfuerzos en las excavaciones más profundas, el rellenado del área de subsidencia puede ser de gran ayuda para evitar la apertura del agrietamiento superficial.
- En todas las minas que son explotadas por el método de minado por Sub Level Caving, necesitan un soporte robusto como el Arco Peruano para evitar las pérdidas de la recuperación de mineral por lo que se sugiere la aplicación del tipo de sostenimiento explicado en la presente investigación. Es recomendable realizar un correcto y adecuado monitoreo de convergencia en las labores donde existe potencial de altos esfuerzos ya que, con los datos obtenidos podemos analizar las condiciones a la que se expone la excavación y recomendar el tipo de sostenimiento óptimo para evitar condiciones inseguras. En los tajeos de explotación (ventanas) se recomienda la instalación de los Arcos Peruanos antes de que las cimbras comiencen a deformarse puesto que instalar cuando las cimbras ya presentan algún tipo de deformación hará que el Arco no trabaje de manera óptima.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aparicio, A. H. (2017). *Guía de criterios geomecánicos, para diseño, construcción, supervisión y cierre de labores subterráneas*. Lima: Osinergmin.
- Bieniawski, Z. (1976). Rock mass classification in rock engineering. *In Exploration for rock engineering.*, 97-106.
- Bieniawski, Z. T. (1989). *Engineering rock mass classifications*. John Wiley and Sons, Inc.
- CAD, M. 3. (2022). *Map3D*. Obtenido de <https://map3d.com/>
- Carhuamaca Merge, J. L. (2018). *2018*. Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Perú.
- Castro Ruíz, R. (2006). *Study of the mechanisms of gravity flow for block caving*. Brisbane: The University of Queensland.
- Catalan, A., & Suarez, C. (2010). Geotechnical characterisation — Cadia East panel caving project, New South Wales, Australia. *Caving 2010: Proceedings of the Second International Symposium on Block and Sublevel Caving, Australian Centre for Geomechanics*, 371-397.
- Catalán, C. (2022). *Informe técnico de geomecánica*. Lima: REDCO CONSULTANTS.
- Christian Olavarría, M. P. (22 de Junio de 2014). *Buenas tareas*. Obtenido de Sub-Level Caving (SLC) Hundimiento por Subniveles: <https://www.buenastareas.com/ensayos/Sub-Level-Caving/54256385.html>
- Diederichs, E. H. (2006). *Empirical estimation of rock mass modulus*. Vancouver: International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences.
- Finitos, M. d. (13 de Enero de 2009). *Introducción*. Obtenido de <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/6146/07.pdf?sequence=8&isAllowed=y>
- Gisiberica. (s.f. de s.f. de s.f.). *Gisiberica*. Obtenido de Medidas de convergencia: <http://www.gisiberica.com/cinta%20de%20convergencia/medidas%20de%20convergencia.htm>
- Hoek E. and Brown, E. (1997). *Practical estimates of rock mass strength*. Int. J. Rock Mech. Min. Sci.
- Hoek, E. &. (1988). *The Hoek-Brown failure criterion. A 1988 update. Rock engineering for underground excavations*. Canadian: Symp. Curran Ed. University of Toronto. .

- Hoek, E. (2002). *Hoek-Brown Failure Criterion*. Toronto, Canada: Itasca Consulting Group Inc., Minneapolis, USA.
- Jakubec Jaroslav, J., Lagacé Dan, D., Boggis, W., Clark, L., & Lewis, P. (2018). Underground mining at Ekati and Diavik diamond mines. *Caving 2018: Proceedings of the Fourth International Symposium on Block and Sublevel Caving, Australian Centre for Geomechanics*, 73-88. Obtenido de https://doi.org/10.36487/ACG_rep/1815_03_Jakubec
- Jing, L. (2003). *A review of techniques, advances and outstanding issues in numerical modelling for rock mechanics and mining sciences*. (págs. 283-353).
- Lewis, P. (2022). Opening sublevel cave slot drifts at Diavik Diamond Mine. *Caving 2022: Fifth International Conference on Block and Sublevel Caving, Australian Centre for Geomechanics*, 1411-1422.
- Olivares Ramos, M. (2009). *Minado del cuerpo Tinyag por el método del Sublevel Caving : empresa minera Los Quenuales - Unidad Minera Iscaycruz*. Informe Técnico, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima.
- Pakalnis, R. (2014). *Empirical Design Methods. 1st International Conference on Applied Empirical Design*. Lima: s.e.
- Quinteiro, C. (2018). Design of a new layout for sublevel caving at depth. *Caving 2018: Proceedings of the Fourth International Symposium on Block and Sublevel Caving, Australian Centre for Geomechanics*, 443-442.
- Quiroz Girón, C. L. (2020). *Aplicación de minado por Sublevel Caving en mina al sur del Perú*. Tesis, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima.
- Rio, PA Lewis, 2017. (s.f.). 2017. Obtenido de Hundimiento por subniveles: <https://1library.co/document/q20632ez-hundimiento-por-subniveles.html>
- Román, F. J. (2017). *Conceptos Fundamentales de Hidrogeología*. España: Dpto. Geología - Universidad de Salamanca.
- Rovegno, J., Agüero, E., Carrasco, R., & Latorre, H. (2015). *Informe de Fundamentos de tecnología minera*. Universidad de Chile, Santiago.
- Sheorey, P. (. (1994). *A theory for in situ stresses in isotropic and transversely isotropic rock*. International Journal of Rock Mechanics and Mining Science & Geomechanics Abstracts.
- Solano Contreras, R. (2008). *Aplicación de los principios del flujo gravitacional al diseño geométrico del Sublevel Caving*. Tesis de grado, Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo.
- Trainings, C. (19 de Enero de 2022). *CWC A&C*. Obtenido de Cálculo del NSR de una Mina: <https://cwc.org.pe/calculo-del-nsr-retorno-neto-de-fundicion-de-una-mina/>

Ynocente Castillejo, E. W. (2007). *Implementación de la variante del método de hundimiento (Raise Caving)*. Tesis de grado, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima.

ANEXOS

Anexo 1. Operacionalización de Variables.

OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES			
VARIABLES	DEFINICIÓN NOMINAL	DEFINICIÓN REAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL INDICADORES
VARIABLE INDEPENDIENTE	Definir el diseño de sostenimiento para labores de altos esfuerzos.	Se caracteriza por el estudio de las propiedades físicas y mecánicas del macizo rocoso, las deformaciones de altos esfuerzos constituyen de dos análisis: experimental y observación el 1ro consta de medición de deformación en campo y el 2do consta de las características litológicas que caja techo, caja piso y estructura mineralizada.	X1. Caracterización de la roca encajante y el mineral
			X2. características hidrogeológico en el cuerpo mineralizado
			X3. Caracterización de la geometría del cuerpo mineralizante y dimensionar el cono de subsidencia.
VARIABLE DEPENDIENTE	Estudiar las condiciones geotécnicas presentes en el macizo rocoso	Es un método de estabilización de cuerpo potente con condiciones geomecánicas complejas, con evaluación geomecánica observacional o experimental, en la estabilización con Cimbras + Arco Peruano.	Y1. Análisis con elementos finitos RS2 y Map 3D.
			Y2. Deformaciones admisibles de las Cimbras y Arco peruano.

Anexo 2. Matriz de consistencia.

"OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE SOSTENIMIENTO CON ARCOS PERUANO EN EL MINADO SUB LEVEL CAVING DE ALTOS ESFUERZOS EN MINA YAURICOCHA - SIERRA METALS"								
PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS GENERAL	VARIABLES				METODOLOGÍA	
			DEPENDIENTE		INDEPENDIENTE			
¿Es posible optimizar el sistema de sostenimiento con Arco Peruano en el minado Sub Level Caving de altos esfuerzos en Mina Yauricocha – Sierra Metals y poder recuperar en su totalidad el mineral que podría perderse por colapso de las labores?	Realizar la optimización del sistema de sostenimiento con Arco Peruano en el minado Sub Level Caving de altos esfuerzos en Mina Yauricocha – Sierra Metals y poder recuperar en su totalidad el mineral que podría perderse por el colapso de las labores.	La aplicación de diversas técnicas, metodologías, prácticas observacionales, tecnológicas, el conocimiento y la experiencia hará posible optimizar el sistema de sostenimiento con Arco Peruano en el minado Sub Level Caving de altos esfuerzos en Mina Yauricocha – Sierra Metals y poder recuperar en su totalidad el mineral que podría perderse por el colapso de las labores.	Estudiar los altos esfuerzos existentes en las ventanas de producción.		Instalación de arco peruano, para alargar el sostenimiento de monitoreo de convergencia, instalación de concreto de alta resistencia en los cuerpos de altos esfuerzos.		Aplicada	
			MÉTODOS Y TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS					
			Mediante monitoreo de convergencia, registro de soportes de la cimbra desde la etapa inicial y final en las Vn. de producción.	Monitoreo y seguimiento de manera directa e indirecta, colocar los parámetros de monitoreo en las zonas inestables, incluido los accesos.	Monitoreo y seguimiento de manera directa e indirecta, colocar los parámetros de monitoreo en las zonas inestables, incluido los accesos.	Mediante medidas en insitu de las deformaciones del macizo rocoso y sostenimiento inicial y post registros, formularlos para monitoreo directa con el formulario para las convergencias.		Mediante medidas en insitu de las deformaciones del macizo rocoso y sostenimiento inicial y post registros, formularlos para monitoreo directa con el formulario para las convergencias.
ESPECÍFICO			DEFINICIÓN OPERACIONAL O INDICADORES					
<ul style="list-style-type: none"> ¿Podría analizarse y modelar los esfuerzos in-situ con el uso de los softwares geomecánicos tales como Map3D y rs2 que nos permitirán calcular la estabilidad global y asegurar la fortificación de las excavaciones? ¿Será posible tomar la data de monitoreo de convergencia de campo e interpretar en gabinete, así mismo analizar las muestras en el laboratorio con los ensayos de propiedades físico – mecánico para definir las propiedades físicas y mecánicas del cuerpo mineralizado y del tipo de acero de las cimbras? 	<ul style="list-style-type: none"> Analizar y modelar los esfuerzos in-situ con el uso de los softwares geomecánicos tales como MAP3D y RS2 que nos permitirán calcular la estabilidad global y asegurar la fortificación de las excavaciones. Tomar la data de monitoreo de convergencia de campo e interpretar en gabinete, así mismo analizar las muestras en el laboratorio con los ensayos de propiedades físico – mecánico para definir las propiedades físicas y mecánicas del cuerpo mineralizado y del tipo de acero de las cimbras. 	<ul style="list-style-type: none"> Se podrá analizar y modelar los esfuerzos in-situ con el uso de los softwares geomecánicos tales como MAP3D y RS2 que nos permitirán calcular la estabilidad global y asegurar la fortificación de las excavaciones. Será posible tomar la data de monitoreo de convergencia de campo e interpretar en gabinete, así mismo analizar las muestras en el laboratorio con los ensayos de propiedades físico – mecánico para definir las propiedades físicas y mecánicas del cuerpo mineralizado y del tipo de acero de las cimbras. 	1.- Zonificación geomecánica	2.- Sostenimiento Activo	1.-Cantidad de puntos de monitoreo	2.- Velocidad de deformación	3.- Desplazamiento acumulado de la deformación	Muestreo
			RESULTADOS					
			Análisis de los diseños de arco peruano		Análisis de las gráficas de medición de convergencia			Diseño de método

Anexo 3. Data de monitoreo de convergencia de cimbras y Arco Peruano.

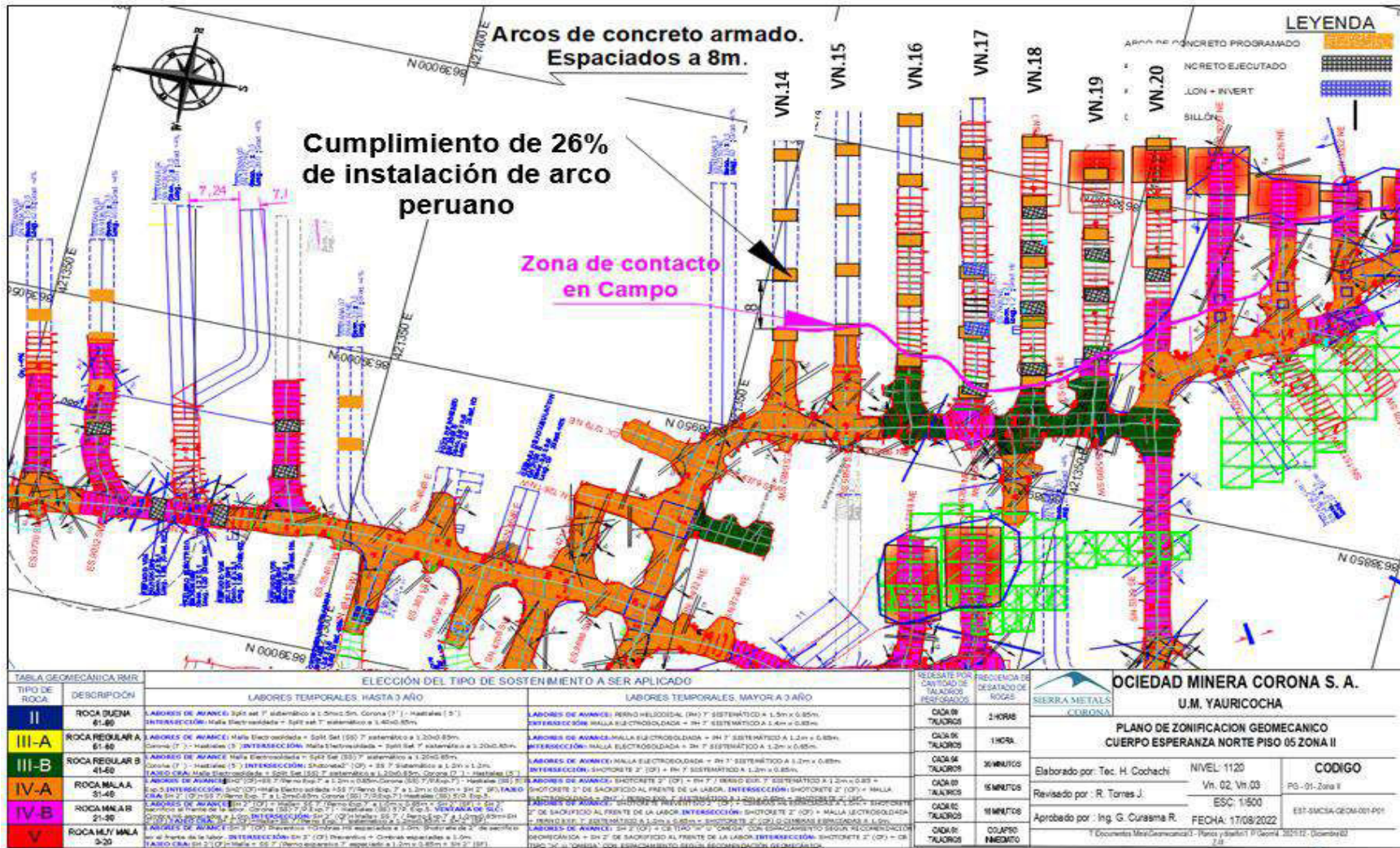
Mes	Cuerpo	Nivel	Labor	Piso	GSI	VALOR RMR	# (CIMBRA/ARCO)	FECHA ANTERIOR	FECHA	PUNTO	EJECUTADO POR	CINTA(m) CE M-42 170	DIGITAL (mm) CE M-42 170	T(°C)	Ancho de labor (m)	MEDIDA ANTERIOR (m)	Ancho de labor (m) CORREGIDA	DESPLAZAMIENTO O ACUMULADO (mm)	VELOCIDAD DE DESPLAZAMIENTO (mm/dia)
JULIO	ESPERANZA	1120	V-18	5	IF/P-MP	21-30	C-14	25/07/2022	26/07/2022	AB	G. Curasma	3	340	20	3340.00	3351.00	3340.00	75.00	11.00
JULIO	ESPERANZA	1120	V-18	5	IF/P-MP	21-30	C-20	25/07/2022	26/07/2022	AB	G. Curasma	3	420	20	3420.00	3425.00	3420.00	29.00	5.00
JULIO	ESPERANZA	1120	V-18	5	IF/P-MP	21-30	ARCO-01	25/07/2022	26/07/2022	AB	G. Curasma	3	225	20	3225.00	3236.00	3225.00	76.00	11.00
JULIO	ESPERANZA	1120	V-18	5	IF/P-MP	21-30	ARCO-02	25/07/2022	26/07/2022	AB	G. Curasma	3	280	20	3280.00	3297.00	3280.00	72.00	17.00
JULIO	ESPERANZA	1120	V-17	5	IF/P-MP	21-30	C-01	25/07/2022	26/07/2022	AB	G. Curasma	4	487	20	4487.00	4484.00	4487.00	4.00	3.00
JULIO	ESPERANZA	1120	V-17	5	IF/P-MP	21-30	C-07	25/07/2022	26/07/2022	AB	G. Curasma	3	412	20	3412.00	3418.00	3412.00	32.00	6.00
JULIO	ESPERANZA	1120	V-17	5	IF/P-MP	21-30	C-13	25/07/2022	26/07/2022	AB	G. Curasma	3	454	20	3454.00	3454.00	3454.00	0.00	0.00
JULIO	ESPERANZA	1120	V-16	5	IF/P-MP	21-30	C-01	25/07/2022	26/07/2022	AB	G. Curasma	3	430	20	3430.00	3431.00	3430.00	12.00	1.00
JULIO	ESPERANZA DISTAL	1120	V-3	5	IF/P-MP	21-30	C-01	25/07/2022	26/07/2022	AB	G. Curasma	4	558	20	4558.00	4568.00	4558.00	-42.00	10.00
JULIO	ESPERANZA DISTAL	1120	V-3	5	IF/P-MP	21-30	C-06	25/07/2022	26/07/2022	AB	G. Curasma	3	120	20	3120.00	3130.00	3120.00	175.000	10.000
JULIO	ESPERANZA DISTAL	1120	V-2	5	IF/P-MP	21-30	C-01	25/07/2022	26/07/2022	AB	G. Curasma	4	147	20	4147.00	4140.00	4147.00	-31.000	7.000
JULIO	ESPERANZA DISTAL	1120	V-2	5	IF/P-MP	21-30	C-06	25/07/2022	26/07/2022	AB	G. Curasma	3	160	20	3160.00	3155.00	3160.00	130.000	5.000
JULIO	ESPERANZA	1120	V-20	5	IF/P-MP	21-30	C-01	26/07/2022	27/07/2022	AB	G. Curasma	3	383	20	3383.00	3386.00	3383.00	78.00	3.00
JULIO	ESPERANZA	1120	V-20	5	IF/P-MP	21-30	C-07	26/07/2022	27/07/2022	AB	G. Curasma	3	264	20	3264.00	3270.00	3264.00	155.00	6.00
JULIO	ESPERANZA	1120	V-20	5	IF/P-MP	21-30	C-15	26/07/2022	27/07/2022	AB	G. Curasma	3	81	20	3081.00	3081.00	3081.00	163.00	0.00
JULIO	ESPERANZA	1120	V-20	5	IF/P-MP	21-30	C-21	26/07/2022	27/07/2022	AB	G. Curasma	3	150	20	3150.00	3160.00	3150.00	242.00	10.00
JULIO	ESPERANZA	1120	V-20	5	IF/P-MP	21-30	C-27	26/07/2022	27/07/2022	AB	G. Curasma	3	404	20	3404.00	3397.00	3404.00	80.00	7.00
JULIO	ESPERANZA	1120	V-20	5	IF/P-MP	21-30	ARCO-01	26/07/2022	27/07/2022	AB	G. Curasma	3	5	20	3005.00	3005.00	3005.00	15.00	0.00
JULIO	ESPERANZA	1120	V-19	5	IF/P-MP	21-30	C-01	26/07/2022	27/07/2022	AB	G. Curasma	3	411	20	3411.00	3413.00	3411.00	89.00	2.00
JULIO	ESPERANZA	1120	V-19	5	IF/P-MP	21-30	C-06	26/07/2022	27/07/2022	AB	G. Curasma	3	262	20	3262.00	3270.00	3262.00	171.00	8.00
JULIO	ESPERANZA	1120	V-19	5	IF/P-MP	21-30	C-12	26/07/2022	27/07/2022	AB	G. Curasma	3	335	20	3335.00	3343.00	3335.00	134.00	8.00
JULIO	ESPERANZA	1120	V-19	5	IF/P-MP	21-30	C-20	26/07/2022	27/07/2022	AB	G. Curasma	3	365	20	3365.00	3378.00	3365.00	86.00	13.00
JULIO	ESPERANZA	1120	V-19	5	IF/P-MP	21-30	C-26	26/07/2022	27/07/2022	AB	G. Curasma	3	390	20	3390.00	3405.00	3390.00	86.00	15.00
JULIO	ESPERANZA	1120	V-19	5	IF/P-MP	21-30	C-32	26/07/2022	27/07/2022	AB	G. Curasma	3	383	20	3383.00	3394.00	3383.00	87.00	11.00
JULIO	ESPERANZA	1120	V-19	5	IF/P-MP	21-30	ARCO-01	26/07/2022	27/07/2022	AB	G. Curasma	3	11	20	3011.00	3022.00	3011.00	140.00	11.00

JULIO	ESPERANZA	1120	V-19	5	IF/P-MP	21-30	ARCO-02	26/07/2022	27/07/2022	AB	G. Curasma	3	130	20	3130.00	3140.00	3130.00	95.00	10.00
JULIO	ESPERANZA	1120	V-18	5	IF/P-MP	21-30	C-01	26/07/2022	27/07/2022	AB	G. Curasma	3	425	20	3425.00	3426.00	3425.00	41.00	1.00
JULIO	ESPERANZA	1120	V-18	5	IF/P-MP	21-30	C-08	26/07/2022	27/07/2022	AB	G. Curasma	3	437	20	3437.00	3438.00	3437.00	39.00	1.00
JULIO	ESPERANZA	1120	V-18	5	IF/P-MP	21-30	C-14	26/07/2022	27/07/2022	AB	G. Curasma	3	328	20	3328.00	3340.00	3328.00	87.00	12.00
JULIO	ESPERANZA	1120	V-18	5	IF/P-MP	21-30	C-20	26/07/2022	27/07/2022	AB	G. Curasma	3	416	20	3416.00	3420.00	3416.00	33.00	4.00
JULIO	ESPERANZA	1120	V-18	5	IF/P-MP	21-30	ARCO-01	26/07/2022	27/07/2022	AB	G. Curasma	3	218	20	3218.00	3225.00	3218.00	83.00	7.00
AGOSTO	ESPERANZA	1120	V-20	5	IF/P-MP	21-30	ARCO-01	31/07/2022	1/08/2022	AB	G. Curasma	2	988	20	2988.00	2990.00	2988.00	32.00	2.00
AGOSTO	ESPERANZA	1120	V-19	5	IF/P-MP	21-30	C-01	31/07/2022	1/08/2022	AB	G. Curasma	3	440	20	3440.00	3440.00	3440.00	60.00	0.00
AGOSTO	ESPERANZA	1120	V-19	5	IF/P-MP	21-30	C-06	31/07/2022	1/08/2022	AB	G. Curasma	3	230	20	3230.00	3234.00	3230.00	203.00	4.00
AGOSTO	ESPERANZA	1120	V-19	5	IF/P-MP	21-30	C-12	31/07/2022	1/08/2022	AB	G. Curasma	3	302	20	3302.00	3306.00	3302.00	167.00	4.00
AGOSTO	ESPERANZA	1120	V-19	5	IF/P-MP	21-30	C-20	31/07/2022	1/08/2022	AB	G. Curasma	3	341	20	3341.00	3341.00	3341.00	110.00	0.00
AGOSTO	ESPERANZA	1120	V-19	5	IF/P-MP	21-30	C-26	31/07/2022	1/08/2022	AB	G. Curasma	3	337	20	3337.00	3343.00	3337.00	139.00	6.00
AGOSTO	ESPERANZA	1120	V-19	5	IF/P-MP	21-30	ARCO-01	31/07/2022	1/08/2022	AB	G. Curasma	2	967	20	2967.00	2977.00	2967.00	184.00	10.00
AGOSTO	ESPERANZA	1120	V-19	5	IF/P-MP	21-30	ARCO-02	31/07/2022	1/08/2022	AB	G. Curasma	3	81	20	3081.00	3092.00	3081.00	144.00	11.00
AGOSTO	ESPERANZA	1120	V-18	5	IF/P-MP	21-30	C-01	31/07/2022	1/08/2022	AB	G. Curasma	3	418	20	3418.00	3420.00	3418.00	48.00	2.00
AGOSTO	ESPERANZA	1120	V-18	5	IF/P-MP	21-30	C-08	31/07/2022	1/08/2022	AB	G. Curasma	3	432	20	3432.00	3432.00	3432.00	44.00	0.00
AGOSTO	ESPERANZA	1120	V-18	5	IF/P-MP	21-30	C-14	31/07/2022	1/08/2022	AB	G. Curasma	3	297	20	3297.00	3300.00	3297.00	118.00	3.00
AGOSTO	ESPERANZA	1120	V-18	5	IF/P-MP	21-30	C-20	31/07/2022	1/08/2022	AB	G. Curasma	3	410	20	3410.00	3410.00	3410.00	39.00	0.00
AGOSTO	ESPERANZA	1120	V-18	5	IF/P-MP	21-30	C-28	31/07/2022	1/08/2022	AB	G. Curasma	3	359	20	3359.00	3361.00	3359.00	2.00	2.00
AGOSTO	ESPERANZA	1120	V-18	5	IF/P-MP	21-30	ARCO-01	31/07/2022	1/08/2022	AB	G. Curasma	3	191	20	3191.00	3194.00	3191.00	110.00	3.00
AGOSTO	ESPERANZA	1120	V-18	5	IF/P-MP	21-30	ARCO-02	31/07/2022	1/08/2022	AB	G. Curasma	3	202	20	3202.00	3223.00	3202.00	150.00	21.00
AGOSTO	ESPERANZA	1120	V-18	5	IF/P-MP	21-30	ARCO-03	31/07/2022	1/08/2022	AB	G. Curasma	3	328	20	3328.00	3328.00	3328.00	0.00	0.00
AGOSTO	ESPERANZA	1120	V-17	5	IF/P-MP	21-30	C-01	31/07/2022	1/08/2022	AB	G. Curasma	4	487	20	4487.00	4487.00	4487.00	4.00	0.00
AGOSTO	ESPERANZA	1120	V-17	5	IF/P-MP	21-30	C-07	31/07/2022	1/08/2022	AB	G. Curasma	3	390	20	3390.00	3394.00	3390.00	54.00	4.00
AGOSTO	ESPERANZA	1120	V-17	5	IF/P-MP	21-30	C-13	31/07/2022	1/08/2022	AB	G. Curasma	3	443	20	3443.00	3443.00	3443.00	11.00	0.00
AGOSTO	ESPERANZA	1120	V-16	5	IF/P-MP	21-30	C-01	31/07/2022	1/08/2022	AB	G. Curasma	3	423	20	3423.00	3423.00	3423.00	19.00	0.00
AGOSTO	ESPERANZA	1120	V-16	5	IF/P-MP	21-30	C-07	31/07/2022	1/08/2022	AB	G. Curasma	3	383	20	3383.00	3383.00	3383.00	0.00	0.00
AGOSTO	ESPERANZA SUR	1120	V-31	11	IF/P-MP	21-30	C-01	31/07/2022	1/08/2022	AB	G. Curasma	3	570	20	3570.00	3570.00	3570.00	0.00	0.00
AGOSTO	ESPERANZA SUR	1120	V-31	11	IF/P-MP	21-30	C-07	31/07/2022	1/08/2022	AB	G. Curasma	3	438	20	3438.00	3438.00	3438.00	0.00	0.00

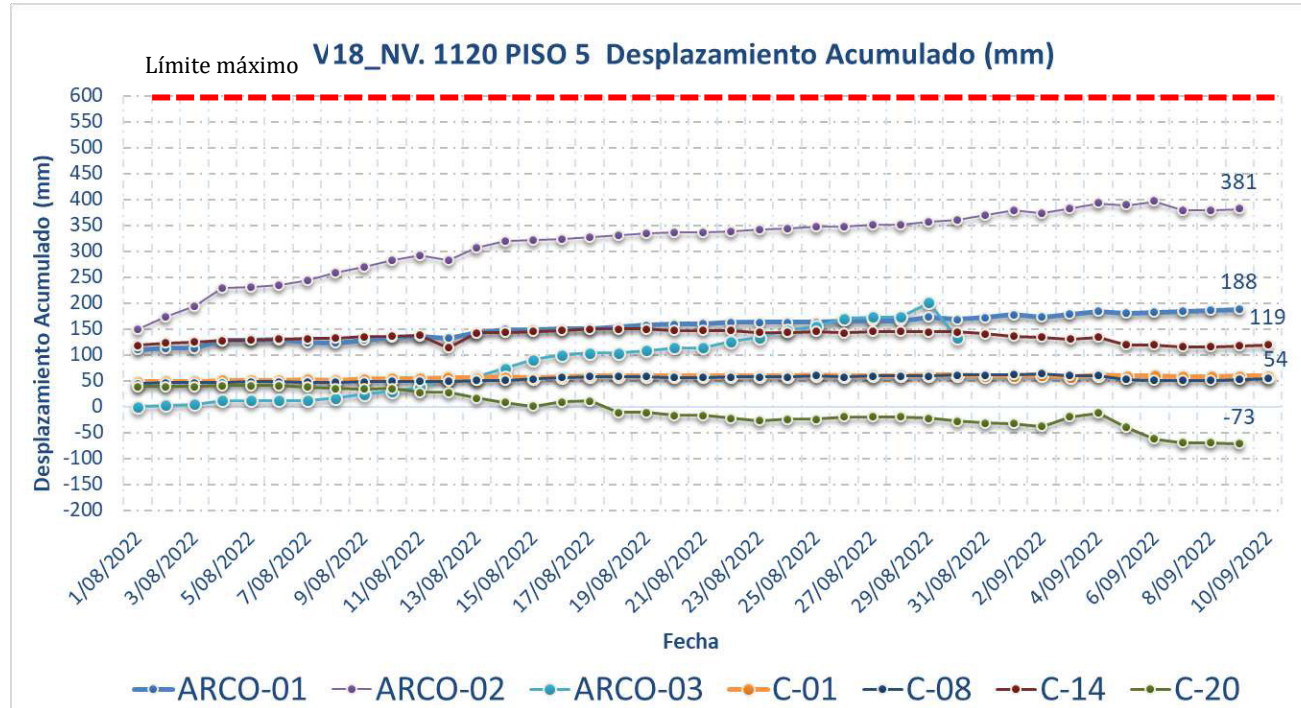
AGOSTO	ESPERANZA SUR	1120	V-31	11	IF/P- MP	21-30	C-13	23/07/2022	1/08/2022	AB	G. Curasma	3	402	20	3402.00	3500.00	3402.00	98.00	10.89
AGOSTO	ESPERANZA SUR	1120	V-30	11	IF/P	21-30	C-01	31/07/2022	1/08/2022	AB	G. Curasma	4	322	20	4322.00	4322.00	4322.00	0.00	0.00
AGOSTO	ESPERANZA SUR	1120	V-30	11	IF/P- MP	21-30	C-07	31/07/2022	1/08/2022	AB	G. Curasma	3	315	20	3315.00	3315.00	3315.00	0.00	0.00
AGOSTO	ESPERANZA SUR	1120	V-30	11	IF/P- MP	21-30	C-13	-	27/07/2022	AB	G. Curasma	3	500	20	3500.00	3500.00	3500.00	0.00	0.00
AGOSTO	ESPERANZA SUR	1120	V-30	11	IF/P- MP	21-30	C-13	27/07/2022	1/08/2022	AB	G. Curasma	3	441	20	3441.00	3500.00	3441.00	59.00	11.80
AGOSTO	ESPERANZA SUR	1120	V-29	11	IF/P- MP	21-30	C-01	31/07/2022	1/08/2022	AB	G. Curasma	3	487	20	3487.00	3487.00	3487.00	0.00	0.00
AGOSTO	ESPERANZA SUR	1120	V-29	11	IF/P- MP	21-30	C-07	27/07/2022	1/08/2022	AB	G. Curasma	3	480	20	3480.00	3500.00	3480.00	20.00	4.00
AGOSTO	ESPERANZA	1120	V-20	5	IF/P- MP	21-30	C-01	1/08/2022	2/08/2022	AB	G. Curasma	3	358	20	3358.00	3363.00	3358.00	103.00	5.00
AGOSTO	ESPERANZA	1120	V-20	5	IF/P- MP	21-30	C-07	1/08/2022	2/08/2022	AB	G. Curasma	3	226	20	3226.00	3237.00	3226.00	193.00	11.00
AGOSTO	ESPERANZA	1120	V-20	5	IF/P- MP	21-30	C-15	1/08/2022	2/08/2022	AB	G. Curasma	3	90	20	3090.00	3097.00	3090.00	154.00	7.00
AGOSTO	ESPERANZA	1120	V-20	5	IF/P- MP	21-30	C-21	1/08/2022	2/08/2022	AB	G. Curasma	3	104	20	3104.00	3112.00	3104.00	288.00	8.00
AGOSTO	ESPERANZA	1120	V-20	5	IF/P- MP	21-30	ARCO-01	1/08/2022	2/08/2022	AB	G. Curasma	2	984	20	2984.00	2988.00	2984.00	36.00	4.00
AGOSTO	ESPERANZA	1120	V-19	5	IF/P- MP	21-30	C-01	1/08/2022	2/08/2022	AB	G. Curasma	3	443	20	3443.00	3440.00	3443.00	57.00	3.00
AGOSTO	ESPERANZA	1120	V-19	5	IF/P- MP	21-30	C-06	1/08/2022	2/08/2022	AB	G. Curasma	3	227	20	3227.00	3230.00	3227.00	206.00	3.00
AGOSTO	ESPERANZA	1120	V-19	5	IF/P- MP	21-30	C-12	1/08/2022	2/08/2022	AB	G. Curasma	3	298	20	3298.00	3302.00	3298.00	171.00	4.00
AGOSTO	ESPERANZA	1120	V-19	5	IF/P- MP	21-30	C-20	1/08/2022	2/08/2022	AB	G. Curasma	3	333	20	3333.00	3341.00	3333.00	118.00	8.00
AGOSTO	ESPERANZA	1120	V-19	5	IF/P- MP	21-30	C-26	1/08/2022	2/08/2022	AB	G. Curasma	3	328	20	3328.00	3337.00	3328.00	148.00	9.00
AGOSTO	ESPERANZA	1120	V-19	5	IF/P- MP	21-30	ARCO-01	1/08/2022	2/08/2022	AB	G. Curasma	2	955	20	2955.00	2967.00	2955.00	196.00	12.00
AGOSTO	ESPERANZA	1120	V-19	5	IF/P- MP	21-30	ARCO-02	1/08/2022	2/08/2022	AB	G. Curasma	3	81	20	3081.00	3081.00	3081.00	144.00	0.00
AGOSTO	ESPERANZA	1120	V-18	5	IF/P- MP	21-30	C-01	1/08/2022	2/08/2022	AB	G. Curasma	3	417	20	3417.00	3418.00	3417.00	49.00	1.00
AGOSTO	ESPERANZA	1120	V-18	5	IF/P- MP	21-30	C-08	1/08/2022	2/08/2022	AB	G. Curasma	3	430	20	3430.00	3432.00	3430.00	46.00	2.00
AGOSTO	ESPERANZA	1120	V-18	5	IF/P- MP	21-30	C-14	1/08/2022	2/08/2022	AB	G. Curasma	3	292	20	3292.00	3297.00	3292.00	123.00	5.00
AGOSTO	ESPERANZA	1120	V-18	5	IF/P- MP	21-30	C-20	1/08/2022	2/08/2022	AB	G. Curasma	3	410	20	3410.00	3410.00	3410.00	39.00	0.00
AGOSTO	ESPERANZA	1120	V-18	5	IF/P- MP	21-30	C-28	1/08/2022	2/08/2022	AB	G. Curasma	3	354	20	3354.00	3359.00	3354.00	7.00	5.00
AGOSTO	ESPERANZA	1120	V-18	5	IF/P- MP	21-30	C-34	1/08/2022	2/08/2022	AB	G. Curasma	3	416	20	3416.00	3416.00	3416.00	0.00	0.00
AGOSTO	ESPERANZA	1120	V-18	5	IF/P- MP	21-30	ARCO-01	1/08/2022	2/08/2022	AB	G. Curasma	3	188	20	3188.00	3191.00	3188.00	113.00	3.00
AGOSTO	ESPERANZA	1120	V-18	5	IF/P- MP	21-30	ARCO-02	1/08/2022	2/08/2022	AB	G. Curasma	3	178	20	3178.00	3202.00	3178.00	174.00	24.00
AGOSTO	ESPERANZA	1120	V-18	5	IF/P- MP	21-30	ARCO-03	1/08/2022	2/08/2022	AB	G. Curasma	3	326	20	3326.00	3328.00	3326.00	2.00	2.00
AGOSTO	ESPERANZA	1120	V-17	5	IF/P- MP	21-30	C-01	1/08/2022	2/08/2022	AB	G. Curasma	4	487	20	4487.00	4487.00	4487.00	4.00	0.00
AGOSTO	ESPERANZA	1120	V-17	5	IF/P- MP	21-30	C-07	1/08/2022	2/08/2022	AB	G. Curasma	3	389	20	3389.00	3390.00	3389.00	55.00	1.00

AGOSTO	ESPERANZA	1120	V-17	5	IF/P- MP	21-30	C-13	1/08/2022	2/08/2022	AB	G. Curasma	3	437	20	3437.00	3443.00	3437.00	17.00	6.00
AGOSTO	ESPERANZA	1120	V-17	5	IF/P	21-30	ARCO-01	1/08/2022	2/08/2022	AB	G. Curasma	3	395	20	3395.00	3395.00	3395.00	0.00	0.00
AGOSTO	ESPERANZA	1120	V-16	5	IF/P- MP	21-30	C-01	1/08/2022	2/08/2022	AB	G. Curasma	3	420	20	3420.00	3423.00	3420.00	22.00	3.00
AGOSTO	ESPERANZA	1120	V-16	5	IF/P- MP	21-30	C-07	1/08/2022	2/08/2022	AB	G. Curasma	3	374	20	3374.00	3383.00	3374.00	9.00	9.00
AGOSTO	ESPERANZA SUR	1120	V-31	11	IF/P- MP	21-30	C-01	1/08/2022	2/08/2022	AB	G. Curasma	3	568	20	3568.00	3570.00	3568.00	2.00	2.00
AGOSTO	ESPERANZA SUR	1120	V-31	11	IF/P- MP	21-30	C-07	1/08/2022	2/08/2022	AB	G. Curasma	3	433	20	3433.00	3438.00	3433.00	5.00	5.00
AGOSTO	ESPERANZA SUR	1120	V-31	11	IF/P- MP	21-30	C-13	1/08/2022	2/08/2022	AB	G. Curasma	3	397	20	3397.00	3402.00	3397.00	103.00	5.00
AGOSTO	ESPERANZA SUR	1120	V-30	11	IF/P- MP	21-30	C-01	1/08/2022	2/08/2022	AB	G. Curasma	4	322	20	4322.00	4322.00	4322.00	0.00	0.00
AGOSTO	ESPERANZA SUR	1120	V-30	11	IF/P- MP	21-30	C-07	1/08/2022	2/08/2022	AB	G. Curasma	3	311	20	3311.00	3315.00	3311.00	4.00	4.00
AGOSTO	ESPERANZA SUR	1120	V-30	11	IF/P- MP	21-30	C-13	1/08/2022	2/08/2022	AB	G. Curasma	3	438	20	3438.00	3441.00	3438.00	62.00	3.00
AGOSTO	ESPERANZA SUR	1120	V-29	11	IF/P- MP	21-30	C-01	1/08/2022	2/08/2022	AB	G. Curasma	3	485	20	3485.00	3487.00	3485.00	2.00	2.00
AGOSTO	ESPERANZA SUR	1120	V-29	11	IF/P- MP	21-30	C-07	1/08/2022	2/08/2022	AB	G. Curasma	3	476	20	3476.00	3480.00	3476.00	24.00	4.00
AGOSTO	ESPERANZA	1120	V-20	5	IF/P- MP	21-30	C-01	2/08/2022	3/08/2022	AB	G. Curasma	3	355	20	3355.00	3358.00	3355.00	106.00	3.00

Anexo 4. Plano Arco Peruano programado Cuerpo Esperanza Nv.1120 Piso 5.



Anexo 5. Monitoreo de convergencia en Cimbras H6 y Arco Peruano.



Nivel de criticidad	Rango de deformación (m) Acumulado		Condición	Medidas de acciones a tomarse
	De	Hasta		
Nivel 01	0.00	0.20	Tolerable	Continuar con el monitoreo según el programa.
Nivel 02	0.20	0.35	Medio	Incrementar la frecuencia de monitoreo de cimbras
Nivel 03	0.35	0.50	Critico	Se debe realizar una evaluación geomecanica de la cimbra.
Nivel 04	>0.50		Muy critico	Se debe tomar medidas correctivas previa evaluación Geomecanica

Anexo 6. Deformación de las cimbras.



Anexo 7. Preparación del Arco Peruano enmallado + estructura metálica + invert



Anexo 8. Preparación del Arco Peruano enmallado, abertura de drenaje y disipación de esfuerzo



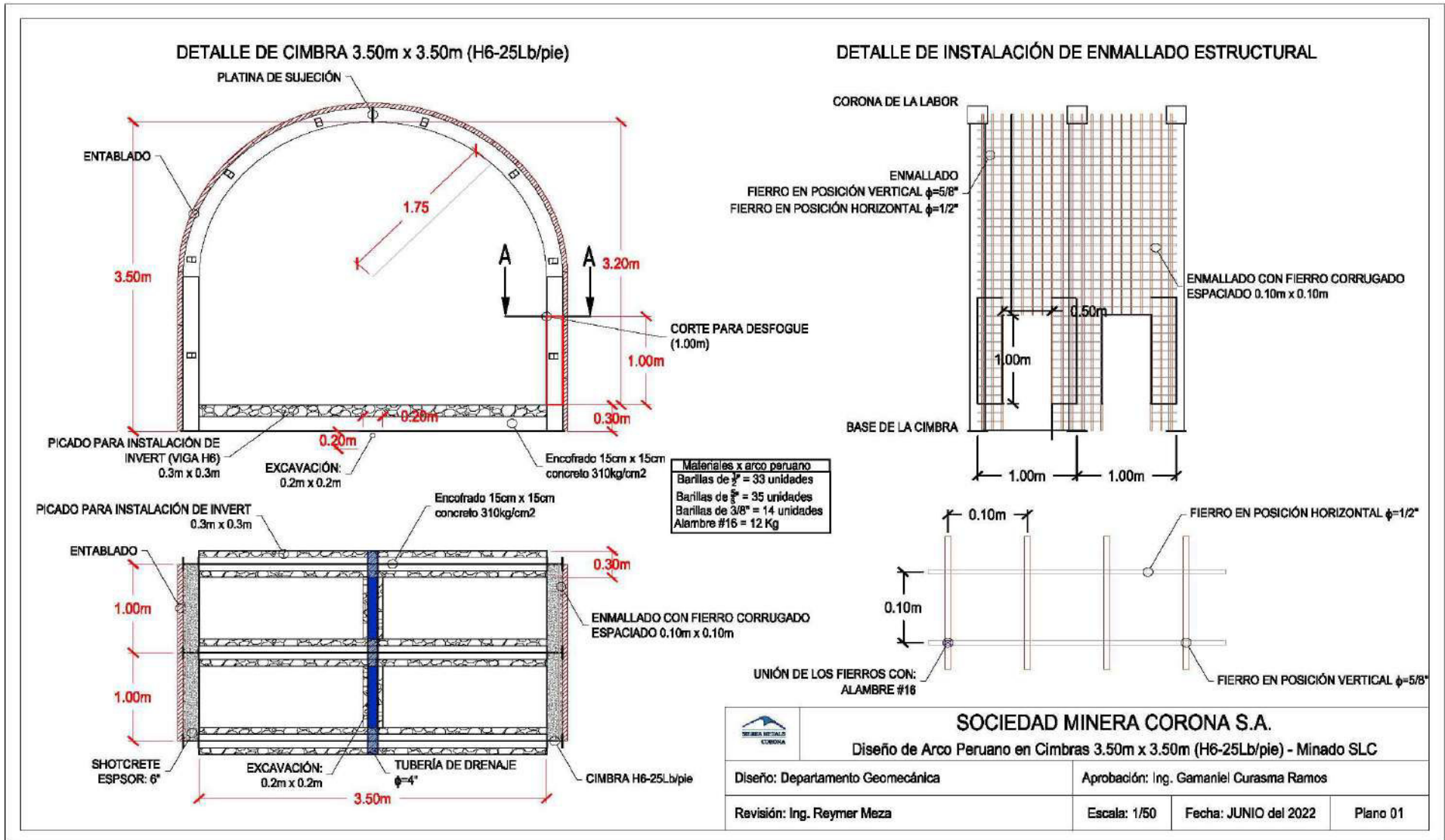
Anexo 9. Resultado de minado con la aplicación de arcos peruano seguro y tiempo de exposición mayor a 3 meses




Anexo 10. Las calles de producción o drawn point estables que superan el tiempo mayor a 3 meses



Anexo 11. Diseño del Arco Peruano



Anexo 12. Procedimiento escrito de trabajo seguro – Arco Peruano

	"LA SEGURIDAD ES: PRODUCCIÓN DE CALIDAD"		UNIDAD DE ACUMULACION YAUICOCHA
	PROCEDIMIENTO: SOSTENIMIENTO CON ARCOS PERUANO		
	Área: GEOMECÁNICA	Versión: 001	
	Código: SIGCO-PETS- PLA-GEM-031	Página: 1/2	

1. PERSONAL.

- 1.1. Maestro
- 1.2. Ayudantes (3).

2. EQUIPOS DE PROTECCIÓN PERSONAL (EPP).


- | | |
|---|--|
| <ol style="list-style-type: none"> 2.1. Protector de cabeza. 2.2. Barbiquejo. 2.3. Lámpara minera. 2.4. Correa portalámpara. 2.5. Respirador con filtro. | <ol style="list-style-type: none"> 2.6. Protector auditivo. 2.7. Mameluco con cinta reflectiva. 2.8. Guantes de cuero / neoprene. 2.9. Lentes de seguridad. 2.10. Botas de jébe con punta de acero. |
|---|--|

3. EQUIPOS / HERRAMIENTAS Y MATERIALES.

- 3.1. Tortol
- 3.2. Sierra
- 3.3. Trampa para habilitar fierro.
- 3.4. Fierro corrugado
- 3.5. Alambre N° 16
- 3.6. Pico
- 3.7. Pala
- 3.8. Alicata





4. PROCEDIMIENTO:

- 4.1. Antes de iniciar el armado de arco en la ventana, debe estar con tapón el tope de la labor/ ventana, seguidamente debe estar habilitado fierros corrugados, se deberá inspeccionar y controlar los niveles de riesgo con las herramientas de gestión como son: IPERC, orden de trabajo, tomando en cuenta los riesgos relacionados a la falta de: Orden y limpieza, EPP, ventilación de la labor, desate rocas, sostenimiento, altura de enfierrado, estado de las vías, filtración de agua, iluminación de la labor, área donde se va a habilitar el fierro y área donde se va a instalar el fierro corrugado, de manera constante coordinar con la Vigía.
- 4.2. El maestro verificara que los materiales estén en obra para realizar el habilitado de fierro y verificara que el diámetro del acero corresponda al diámetro requerido en los planos.
- 4.3. Se dispondrá de una mesa y una trampa para habilitar el acero, el corte del acero se hará con hoja de sierra, la dobles y la separación del acero debe corresponder al plano o al diseño aprobado, así también como los traslapes.
- 4.4. Este trabajo lo debe realizar personal calificado.
- 4.5. Para amarrar los fierros corrugados de la estructura se usará alambre N° 16.
- 4.6. El amarre de los fierros se realizará en los dos espacios consecutivos de cimbras.
- 4.7. Fijar la malla de fierro corrugado con templadores, antes de iniciar otra actividad.
- 4.8. Se realizará el marcado o trazo en el terreno el área a excavar de acuerdo con la profundidad de indicada en el estándar.
- 4.9. El personal que realizará la excavación deberá tener conocimiento del manejo de las herramientas para realizar este trabajo.
- 4.10. El fondo de la excavación deberá quedar limpio y parejo, para que el personal del avance del coloque los Invers. El fondo de la zanja debe quedar en terreno firme, las herramientas a utilizar deben estar en buen estado y ser verificadas por el supervisor.
- 4.11. Proceder con el armado de una estructura de fierro corrugado en base a las dimensiones indicadas en el estándar.
- 4.12. Instalar los Invers, en las zanjas y realizar más soldado de Cimbras + Invert. Dejar listo para ser lanzado de shotcrete mecanizado.
- 4.13. Proceder con el lanzado de shotcrete sobre la malla de estructura metálica


	"LA SEGURIDAD ES: PRODUCCIÓN DE CALIDAD"		UNIDAD DE ACUMULACION VAURICOCHA
	PROCEDIMIENTO: SOSTENIMIENTO CON ARCOS DE CONCRETO ARMADO.		
	Área: GEOMECANICA	Versión: 001	
Código: SIGCO-PETS- PLA-GEM-031	Página: 2/2		

5. RESTRICCIONES: No se realiza la tarea cuando:

- 5.1. Las condiciones de trabajo no sean las adecuadas, rocas sueltas o sostenimiento en estado de deterioro.
- 5.2. No se realizará trabajos si no hay adecuada ventilación.

PREPARADO POR:  Roberto Torres Juica CIP N° 119621 SUPERVISOR DE AREA Y TRABAJADORES	REVISADO POR:  Germaneje Curasma Ramos CIP N° 127171 JEFE SENIOR DE GEOMECÁNICA Y GEOTECNIA	REVISADO POR:  Juan Feljo Corraque CIP N° 877058 SUPERINTENDENTE DE SEGURIDAD, SALUD EN EL TRABAJO Y MEDIO AMBIENTE	APROBADO POR:  Henry Aubert Tasson GERENTE DE OPERACIONES
FECHA DE ELABORACIÓN: 01 DE AGOSTO DE 2022			FECHA DE APROBACIÓN: 01 DE AGOSTO DE 2022

Anexo 9. Estándar de Sostenimiento con Arco Peruano.

 SIERRA METALS CORONA	"LA SEGURIDAD ES: PRODUCCIÓN DE CALIDAD"		UNIDAD DE ACUMULACION YAUROICHA
	ESTANDAR: SOSTENIMIENTO CON ARCOS PERUANO		
	Código: SIGCO-EST-PLA-GEM-023	Versión: 001	
	Fecha de elaboración: 01-08-22	Página: 1/7	

1. OBJETIVO

- Estandarizar los lineamientos técnicos para la instalación de arcos peruano, que permitan alcanzar y garantizar en absoluto la estabilidad de las excavaciones y establecer las mejores prácticas de seguridad en esta actividad.

2. ALCANCE

- Aplica a las labores de preparación con una longitud mayor a 30m. donde requiera el refuerzo con arcos peruano.

3. REFERENCIAS LEGALES Y OTRAS NORMAS.

- Política de Seguridad y Salud Ocupacional de SMCSA.
- Política de Seguridad y Salud Ocupacional de SMCSA.
- Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional D.S. 024-2016-EM. y su modificatoria DS. 023-2017-EM.
- Reglamento Interno de Seguridad y Salud Ocupacional de SMCSA.
- Ley 29783, Ley de Seguridad y Salud en el Trabajo.
- OTROS.


4. ESPECIFICACIONES DEL ESTANDAR

- 4.1. La instalación de arcos de concreto armado se realizará en los dos espacios consecutivos de cimbras. (ver anexo 1)
- 4.2. El espaciado entre arcos peruano, en la misma labor, tendrá una longitud entre 10m a 14m.
- 4.3. La malla de fierro para el concreto armado debe tener las siguientes características:

- Diámetro de los fierros horizontales ½ pulg.
- Diámetro de los fierros verticales 5/8 pulg.
- Espaciamiento vertical 10 cm.
- Espaciamiento horizontal 10 cm.
- El amarre debe realizarse con alambre #16.
- El diseño gráfico de la malla se detalla en el anexo N°2.
- Se debe excavar zanjas de sección 30cm x 30cm en la línea lateral de las patas de las cimbras para posteriormente realizar el vaciado de concreto (ver anexo 3).
- Se debe instalar vigas transversales "invert", con fierro corrugado de 5/8" de diámetro y de sección 20cm x 20cm. en las zanjas excavadas (ver anexo 4).

4.4. DISEÑO DE MEZCLA UTILIZADO

- Culinado el armado de la malla de fierro corrugado, se procederá al lanzado de Shotcrete, con un espesor de 6", manteniendo las características técnicas de resistencia iniciales, tempranas y finales, Flexotracción, y adhesión según la tabla siguiente.

	"LA SEGURIDAD ES: PRODUCCIÓN DE CALIDAD"		UNIDAD DE ACUMULACION YAURICOCHA
	ESTANDAR: SOSTENIMIENTO CON ARCOS PERUANO		
	Código: SIGCO-EST- PLA-GEM-023	Versión: 001	
	Fecha de elaboración: 01-08-22	Página: 2/7	

Tiempo	Resistencia (Kgf/cm ²)	
	J3	Equipo
6 min	5	Penetrómetro
10 min	6,5	
30 min	1,2	
1 horas	15 - 20	
3 horas	30 - 40	Pistola Hilti
12 horas	80	
24 horas	130 - 160	

Cuadro N° 1: Resistencia Inicial y Temprana del Shotcrete.

TIEMPO	RESISTENCIA A COMPRESIÓN VIA HUMEDA (kg/cm ²)	ABSORCION DE ENERGIA – JOULES POR TIPO DE ROCA VÍA HUMEDA (Fibra Metálica)	
		IV-A	IV-B
01 días	130 – 160	-	-
03 días	180 – 210	-	-
07 días	280 – 300	-	-
28 días	350 – 380	IV-A 31 – 40 IV-B 21 – 30 V 0 - 20	20 Kg/m ³ = 500 J 30 Kg/m ³ = 700 J 40 Kg/m ³ = 1000 J

Cuadro N° 2: Resistencia a Compresión y Flexotracción del Shotcrete

El Shotcrete debe cumplir las especificaciones técnicas del estándar de sostenimiento con shotcrete vía húmeda (SIGCO-EST- PLA-GEM-007).

5. RESPONSABLES:

- GERENTE DE OPERACIONES: Responsable de brindar los recursos para el cumplimiento del estándar.
- SUPERINTENDENTE DE MINA: Aprobar los requerimientos necesarios para el presente estándar.
- GERENTE DE SEGURIDAD Y SALUD OCUPACIONAL: Responsable del seguimiento al cumplimiento del estándar.
- SUPERVISORES: Responsable de cumplir y hacer cumplir el estándar.
- TRABAJADORES: Responsables de la ejecución de los trabajos y cumplimiento del estándar.
- JEFE DE ALMACEN: Mantener el stock de materiales en almacén.

	"LA SEGURIDAD ES: PRODUCCIÓN DE CALIDAD"		UNIDAD DE ACUMULACION YAURICOCHA
	ESTANDAR: SOSTENIMIENTO CON ARCOS PERUANO		
	Código: SIGCO-EST- PLA-GEM-023	Versión: 001	
	Fecha de elaboración: 01-08-22	Página: 3/7	

6. REGISTROS, CONTROLES Y DOCUMENTACION

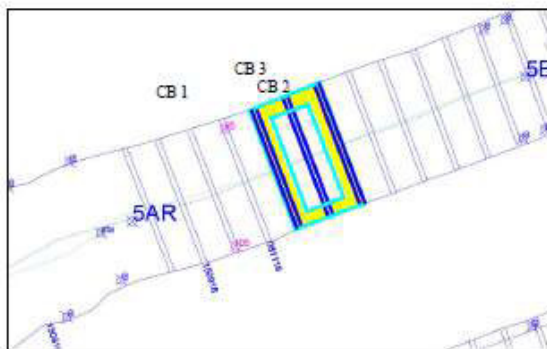
- Planos de Geomecánica con tipo de roca y tipo de sostenimiento.
- Plano de diseño y sección típica de labor.
- Evaluación y Recomendación Geomecánica.
- check list de los equipos.
- Registro IPERC Continuo.
- Registro de orden de trabajo (cuaderno).

7. REVISION

- La revisión se hará en forma anual y/o cuando se produzcan incidentes significativos, cambios en las operaciones o en la legislación.

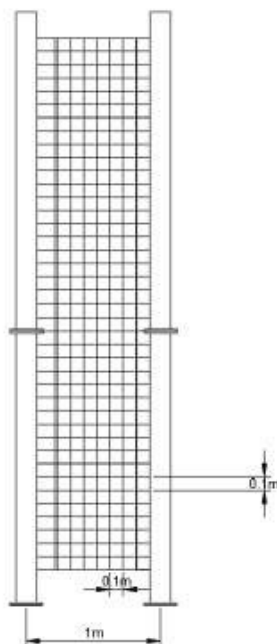
ANEXO 01


ESPACIOS CONSECUTIVOS DE CIMBRAS PARA LA INSTALACIÓN DE ARCOS PERUANO ARMADO DE ACUERDO AL ANALISIS DE ESTABILIDAD RS2



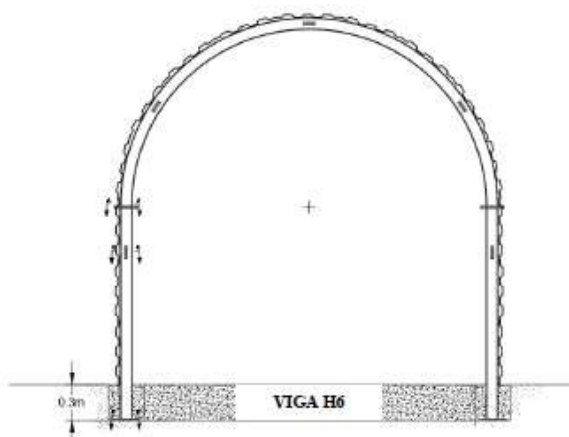
 SIERRA METALS CORONA	"LA SEGURIDAD ES: PRODUCCIÓN DE CALIDAD"		UNIDAD DE ACUMULACION YAURICOCHA
	ESTANDAR: SOSTENIMIENTO CON ARCOS PERUANO		
	Código: SIGCO-EST-PLA-GEM-023	Versión: 001	
	Fecha de elaboración: 01-08-22	Página: 4/7	

ANEXO 02
MALLA DE FIERRO CORRUGADO



	"LA SEGURIDAD ES: PRODUCCIÓN DE CALIDAD"		UNIDAD DE ACUMULACION YAUROCOCHA
	ESTANDAR: SOSTENIMIENTO CON ARCOS PERUANO		
	Código: SIGCO-EST-PLA-GEM-023	Versión: 001	
	Fecha de elaboración: 01-08-22	Página: 5/7	

**ANEXO 03
EXCAVACIÓN DE ZANJA PARA INSTALAR VIGA H**




**ANEXO 04
VIGA H6 PARA QUE SERVIRA DE INVERT**

VISTA PLANTA DE LA VIGA H6



VISTA SECCIÓN

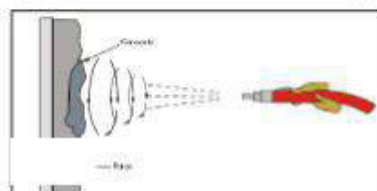

CIMBRA H6-25Lb/pie


	"LA SEGURIDAD ES: PRODUCCIÓN DE CALIDAD"		UNIDAD DE ACUMULACION YALURIOCHA
	ESTANDAR: SOSTENIMIENTO CON ARCOS PERUANO		
	Código: SIGCO-EST-PLA-GEM-023	Versión: 001	
	Fecha de elaboración: 01-08-22	Página: 6/7	

**ANEXO 05
INSTALACIÓN DE ARCOS PERUANO CON VIGA H EN EL PISO**

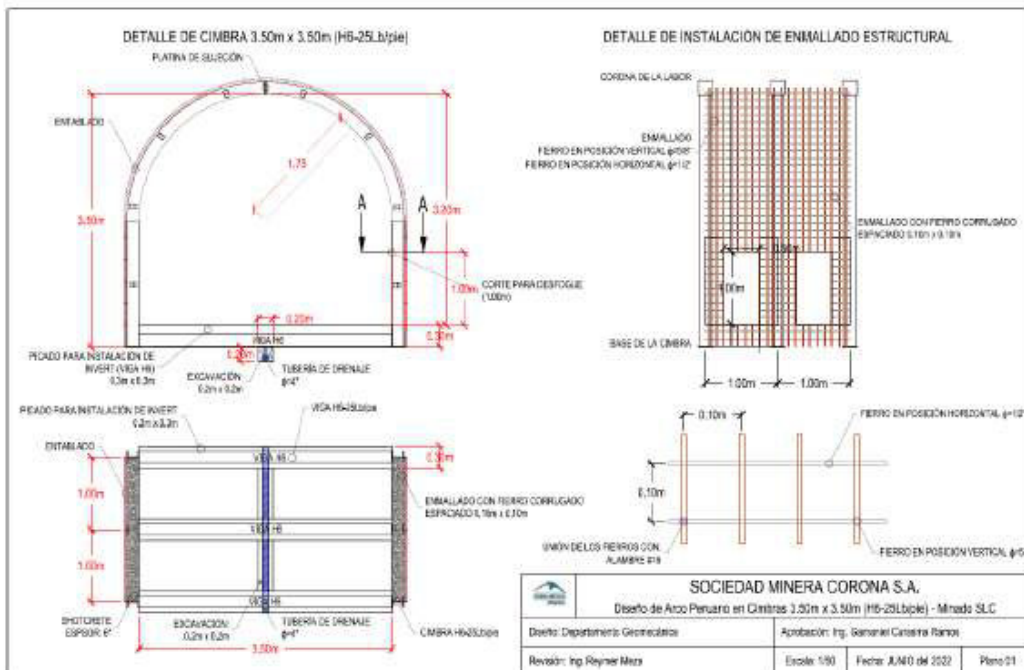


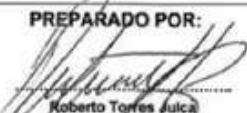



**ANEXO 06
MODO DE APLICACION DEL SHOTCRETE**



	"LA SEGURIDAD ES: PRODUCCIÓN DE CALIDAD"		UNIDAD DE ACUMULACION YAURICOCHA
	ESTANDAR: SOSTENIMIENTO CON ARCOS PERUANO		
	Código: SIGCO-EST-PLA-GEM-023	Versión: 001	
	Fecha de elaboración: 01-08-22	Página: 7/7	

**ANEXO 07
DISEÑO DE ARCO PERUANO**



<p>PREPARADO POR:</p>  <p>Roberto Torres Julca CIP N° 119621 SUPERVISOR DE AREA Y TRABAJADORES</p>	<p>REVISADO POR:</p>  <p>Gamaniel Curasma Ramos CIP N° 127171 JEFE SENIOR DE GEOMECÁNICA Y GEOTECNIA</p>	<p>REVISADO POR:</p>  <p>Juan Feljo Cernaque CIP N° 677958 SUPERINTENDENTE DE SEGURIDAD, SALUD EN EL TRABAJO Y MEDIO AMBIENTE</p>	<p>APROBADO POR:</p>  <p>Henry Aubert Tasson GERENTE DE OPERACIONES</p>
<p>FECHA DE ELABORACIÓN: 01 DE AGOSTO DE 2022</p>			<p>FECHA DE APROBACIÓN: 01 DE AGOSTO DE 2022</p>

