

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

Escuela Académico Profesional de Ingeniería de Minas

Tesis

**Implementación de la recuperación de puentes  
aplicando el Método Sublevel Caving en la Unidad de  
Producción Yauricocha Sociedad Minera Corona S. A.**

Jhon Jhayro Pariona Cervantes

Para optar el Título Profesional de  
Ingeniero de Minas

Huancayo, 2023

Repositorio Institucional Continental  
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

## **ASESOR**

Ing. Benjamín Manuel Ramos Aranda

## **AGRADECIMIENTOS**

A mis padres: Javier Jerson Pariona López y Sandra Marlene Cervantes Osorio, a mis familiares por el amor, confianza y formación que me han brindado en la vida.

Al Ing. Rolando Aliaga Aliga por darme la confianza y oportunidad de empezar la carrera profesional de Ingeniería de Minas.

A la empresa Sociedad Minera Corona S.A., ingenieros, empleados y obreros con los que me formo como profesional.

Al Ing. Benjamín Ramos Aranda, a quien admiro y reconozco su calidad de profesional.

A amigos que sumaron en mi formación profesional: Elvis Esteban Onofre, Ronald Tejeda Romero y Reymer Meza Quintana.

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo es dedicado al recuerdo de mis queridos abuelos: Romulo Pariona Ordaya y Escolastico Cervantes Mejía.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

PORTADA.....	i
ASESOR .....	ii
AGRADECIMIENTOS .....	iii
DEDICATORIA.....	iv
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	v
ÍNDICE DE TABLAS .....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	ix
RESUMEN .....	x
ABSTRACT .....	xii
INTRODUCCIÓN .....	xiii
CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO.....	14
1.1 Planteamiento y formulación del problema .....	14
1.1.1 Planteamiento del problema .....	14
1.1.2 Formulación del problema.....	15
1.2 Objetivos.....	15
1.2.1 Objetivo general.....	15
1.2.2 Objetivos específicos .....	16
1.3 Justificación e importancias .....	16
1.3.1 Justificación social .....	16
1.3.2 Justificación académica .....	17
1.3.3 Justificación económica .....	17
1.4 Hipótesis de la investigación .....	17
1.4.1 Hipótesis general .....	17
1.4.2 Hipótesis específicas .....	18
1.5 Identificación de Variables .....	18
1.5.1 Variable dependiente .....	18
1.5.2 Variable independiente .....	18
1.6 Matriz de operacionalización de variables.....	18
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO.....	20
2.1 Antecedentes del problema .....	20

2.2 Bases teóricas .....	22
2.3 Generalidades de la unidad minera Yauricocha .....	22
2.3.1 Ubicación .....	22
2.3.2 Accesibilidad .....	22
2.3.3 Clima .....	23
2.3.4 Topografía .....	23
2.4 Geología de la unidad minera Yauricocha .....	23
2.4.1 Marco geológico regional .....	23
2.5 Mineralización .....	26
2.5.1 Vetas .....	26
2.5.2 Cuerpos .....	26
2.6 Geomecánica.....	27
2.6.1 Macizo rocoso.....	27
2.7 Método <i>sub level caving</i> en Sociedad Minera Corona S. A. ....	31
2.7.1 Descripción del método .....	31
2.7.2 Preparación del tajo .....	32
2.7.3 Preparación de ventanas .....	32
2.7.4 Explotación del tajo.....	33
2.7.5 Seguridad en el método <i>sub level caving</i> .....	34
2.8 Definición de términos básicos.....	34
CAPÍTULO III METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN .....	37
3.1 Método y alcance de la investigación.....	37
3.1.1 Tipo de estudio .....	37
3.1.2 Nivel de Investigación .....	37
3.2 Diseño de la investigación .....	37
3.3 Población y muestra .....	38
3.3.1 Población.....	38
3.3.2 Muestra.....	38
3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	38
3.4.1 Técnicas de recolección de datos .....	38
3.4.2 Instrumentos de recolección de datos.....	38
CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	39

4.1 Evaluación geomecánica para de la recuperación del puente.....	39
4.1.1 Propiedades mecánicas de los materiales .....	39
4.1.2 Modelo geomecánico para la recuperación del puente .....	42
4.1.3 Puente mínimo para la recuperación del puente .....	44
4.1.4 Recomendación geomecánica para la recuperación del puente .....	45
4.1.5 Secuencia de recuperación del puente .....	47
4.2 Análisis de las reservas .....	50
4.2.1 Cálculo de las reservas a recuperar.....	50
4.2.2 Análisis de leyes de las reservas .....	51
4.2.3 Valor económico de mineral recuperado.....	51
4.3 Aplicación del método <i>sub level caving</i> en la recuperación.....	52
4.3.1 Descripción del método <i>sub level caving</i> en la recuperación .....	52
4.3.2 Perforación y voladura para la recuperación.....	52
4.4 Análisis económico .....	54
4.4.1 Costos de la aplicación de la recuperación .....	54
4.4.2 Resumen de costos .....	56
4.4.3 Costo – beneficio .....	57
4.4.4 Programado – ejecutado.....	57
CONCLUSIONES .....	59
RECOMEDACIONES.....	60
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	61
ANEXOS .....	63
.....	65

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Matriz de operacionalización de variables .....	19
Tabla 2. Criterio para clasificación de la masa rocosa.....	29
Tabla 3. Clasificación geomecánica según tipo de roca .....	30
Tabla 4. Propiedades mecánicas del relleno .....	39
Tabla 5. Propiedades mecánicas de la roca III-A .....	40
Tabla 6. Propiedades mecánicas de la roca III-B .....	40
Tabla 7. Propiedades de la roca IV-A.....	40
Tabla 8. Propiedades mecánicas de la roca IV-B.....	41
Tabla 9. Propiedades mecánicas de la cimbra CB H6.....	41
Tabla 10. Propiedades mecánicas de Split Set 7pies .....	41
Tabla 11. Leyes del tajo 2700 .....	51
Tabla 12. Diseño de perforación .....	54
Tabla 13. Distribución del explosivo para la voladura .....	54
Tabla 14. Costos de sostenimiento .....	55
Tabla 15. Costos de perforación .....	55
Tabla 16. Costos de voladura.....	56
Tabla 17. Costos de acarreo .....	56
Tabla 18. Resumen de costos .....	56
Tabla 19. Costo – beneficio.....	57
Tabla 20. Programa de producción zona III - agosto .....	57
Tabla 21. Ejecutado de producción zona III - agosto.....	58
Tabla 22. Comparativo programado - ejecutado.....	58

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Sistema de familias - Plano estructural.....	29
Figura 2. Simulación del desplazamiento vertical en la recuperación del puente del tajo 2700 .....	42
Figura 3. Simulación de desplazamiento horizontal para la recuperación del puente del tajo 2700 .....	43
Figura 4. Simulación de desplazamiento total para la recuperación del puente del tajo 2700 .....	44
Figura 5. Simulación para obtener el factor de seguridad en la recuperación del tajo 2700.....	45
Figura 6. Tajo 2700 con la gradiente nivelada.....	46
Figura 7. Sostenimiento del tajo 2700 escondida .....	47
Figura 9. Tajo 2700 explotado por corte y relleno.....	47
Figura 10. Tajo 2700 con cimbras instaladas .....	48
Figura 11. Tajo 2700 primera perforación para la recuperación del puente .....	48
Figura 12. Tajo 2700 limpieza de la recuperación del mineral .....	49
Figura 13. Tajo 2700 ultima perforación en la recuperación del puente.....	49
Figura 14. Tajo 2700 limpieza del ultimo disparo.....	50
Figura 15. Tajo 2700 puente recuperado.....	50
Figura 16. Diseño de malla de perforación y voladura para la recuperación del puente.....	53

## RESUMEN

La mina Yauricocha, actualmente, se ve enfrentada a un problema de producción y leyes. Se tienen tajos explotados por *sub level caving* que proporcionan el mayor tonelaje a la cuota de producción programada y los tajos de corte y relleno ascendente que contribuyen con leyes altas y sirven para dosificar nuestro mineral masivo. Tajos que hoy no abastecen la regulación en relación con la ley programada de la producción.

Surge entonces la necesidad de recuperar mineral regulador para dosificar nuestras leyes y así se permita alcanzar los programas de producción, bajo esta premisa y teniendo en cuenta las condiciones geológicas y geomecánicas del depósito a evaluarse.

Esto permite plantear la siguiente hipótesis general: la implementación de la recuperación de puentes aplicando el método *sub level caving* impactará positivamente en el cumplimiento del programa de producción de la unidad de producción Yauricocha Sociedad Minera Corona S. A. Asimismo, se tienen dos siguientes hipótesis específicas. La primera es que la recuperación de reservas del tajo 2700 influirá positivamente para el alcance del programa de producción de la unidad de producción Yauricocha Sociedad Minera Corona S. A. La segunda es que la evaluación geomecánica nos permitirá recuperar más del 30 % de reservas del puente dejado en el tajo 2700 de la unidad de producción Yauricocha Sociedad Minera Corona S. A.

El método general de la investigación es el científico; el tipo, descriptivo; el nivel, aplicado. Esta investigación tiene justificación e importancia basada en lo económico, académico y social. Como población tenemos los tajos de corte y relleno de la unidad de producción Yauricocha. La muestra es el tajo 2700 del cuerpo escondida del nivel 920 de zona III de la unidad de producción Yauricocha.

La recuperación del puente del tajo 2700 aplicando el método de *sub level caving* nos permite contar con mineral de alto valor económico que aporta al programa de producción.

**Palabras claves:** recuperación de puente

## ABSTRACT

The Yauricocha mine is currently facing a production and laws problem, there are pits exploited by Sub Level Caving that provide the highest tonnage at the scheduled production quota and the Cut and Fill Up pits that contribute with high grades and serve to dose our massive ore. Pits that today do not supply the regulation in relation to the programmed law of production.

The need arises then to recover regulatory mineral to dose our grades and thus allow us to achieve the production programs, under this premise and taking into account the geological and geomechanical conditions of the deposit to be evaluated is that the feasibility of the project will be verified or ruled out.

This allows us to propose the following general hypothesis: The implementation of the recovery of bridges applying the Sub Level Caving method will positively impact the fulfillment of the production program of the Yauricocha Production Unit Sociedad Minera Corona S.A. and have the following specific hypotheses; The recovery of reserves from pit 2700 will positively influence the scope of the production program of the Yauricocha Production Unit Sociedad Minera Corona S.A.; In addition, the geomechanical evaluation will allow us to recover more than 30% of the reserves of the bridge left in pit 2700 of the Yauricocha Sociedad Minera Corona S.A. Production Unit.

The general method of the investigation is scientific, as a type of investigation it is descriptive, the level of research is applied, this research has justification and importance based on the economic, academic and social aspects. As a population we have the cut and fill pits of the Yauricocha Production Unit. The sample is pit 2700 of the hidden body of level 920 of zone III of the Yauricocha Production Unit.

The recovery of the bridge of pit 2700 applying the Sub Level Caving method allows us to have mineral of high economic value that contributes to the production program.

**Keywords:** Recovery of bridge.

## INTRODUCCIÓN

El presente trabajo se desarrolla en base a un proyecto de recuperación de puentes por el método de *sub level caving* en el método de corte y relleno ascendente aplicado en la unidad de producción Yauricocha.

En el tajo 2700, ubicado en el nivel 920 en la zona III “Cachi Cachi” perteneciente a la mina Yauricocha explotada por Sociedad Minera Corona S. A. Se planeó inicialmente dejar un puente de 6 metros por seguridad; sin embargo, la producción planeada no se cumplía y se pronosticaba que esta situación no mejoraría. Es por lo que se contempló la alternativa de la recuperación de puentes con el fin de cumplir la producción programada. Esta recuperación por el método de *sub level caving* posee la ventaja de continuar explotando mineral de ley reguladora.

En este proyecto se analizan las variables técnicas, económicas y el análisis geomecánico que se presentan en las fases de preparación y explotación de la recuperación de puentes por *sub level caving* en el método de corte y relleno ascendente.

Se muestran cuadros que, con su respectiva sustentación, ilustrarán adecuadamente los cálculos que este proyecto comprende.

# CAPÍTULO I

## PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

### 1.1 Planteamiento y formulación del problema

#### 1.1.1 Planteamiento del problema

El Perú es un país cuya actividad principal es la minería, esto debido a la riqueza geológica que presenta nuestro territorio, llevado de la mano el marco jurídico promotor de la inversión privada, por ello el Perú es destino atractivo de inversores extranjeros.

Ya en la actividad minera, se encuentran depósitos con variaciones en su forma, tamaño, contenido mineral, valor económico y origen; esto permite decidir la factibilidad y rentabilidad de la explotación.

La empresa Sociedad Minera Corona S. A. tiene a la unidad de Yauricocha ubicada en la sierra del departamento de Lima en la provincia de Yauyos. Esta unidad explota yacimientos polimetálicos por el método de *sub level caving* y corte y relleno convencional. Cachi Cachi ubicada a 1,5 km al norte de la mina Yauricocha presenta su mineralización de polimetálicos en forma de cuerpos irregulares masivos y brechosos. Uno de estos cuerpos mineralizados es el de Joselyn en el que encontramos el tajo 2700 en el nivel 920, este tajo es explotado por el método de corte y relleno convencional.

Cachi Cachi aporta un 20,5 % de la producción de mineral programada siendo sus leyes de zinc las significativas (promedio de 4.9 % Zn), debido a la baja de leyes que acompañan la explotación, la superintendencia de mina ha tomado la decisión de recuperar el puente que se dejó en el tajo 2700 para mantener la producción de mineral según el programa establecido.

La selección del método de explotación en Sociedad Minera Corona S. A. ha sido importante en la viabilidad de la explotación de sus diferentes tajos, siendo una de las pocas minas del país que tiene como método de explotación el *sub level caving*. Para la recuperación de puentes, la empresa decidió implementar el método de *sub level caving* en el último piso que realiza en su explotación por corte y relleno, para recuperar mineral económicamente valioso y este sea un regulador para los otros tajos aumentado las leyes que se presentan en la explotación.

## **1.1.2 Formulación del problema**

### **1.1.2.1 Problema general**

¿De qué manera influye la implementación de la recuperación de puentes aplicando el método *sub level caving* en el programa de producción de la unidad de producción Yauricocha Sociedad Minera Corona S. A.?

### **1.1.2.2 Problemas específicos**

a) ¿De qué manera influye las reservas del puente dejado en el tajo 2700 en la producción de la unidad de producción Yauricocha Sociedad Minera Corona S. A.?

b) ¿Cuál es la recomendación geomecánica en la recuperación del tajo 2700 de la unidad de producción Yauricocha Sociedad Minera Corona S. A.?

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo general**

Identificar el impacto en la producción que genera la implementación de la recuperación de puentes aplicando el método *sub level caving* en la unidad de producción Yauricocha Sociedad Minera Corona S. A.

### **1.2.2 Objetivos específicos**

- a) Determinar las reservas del puente dejado en el tajo 2700, para obtener la producción a recuperar de este tajo en la unidad de producción Yauricocha Sociedad Minera Corona S. A.
  
- b) Determinar la recomendación geomecánica, para recuperar el puente del tajo 2700 de la unidad de producción Yauricocha Sociedad Minera Corona S. A.

### **1.3 Justificación e importancias**

El presente estudio, con relación a la implementación de la recuperación de puentes por *sub level caving* en el método de corte y relleno ascendente, representa otra alternativa entre los métodos de explotación para Sociedad Minera Corona S. A.

El método tiene como mayor fortaleza la recuperación de mineral de los puentes de los tajos de corte y relleno ascendente por el método de *sub level caving*, a la vez que permite una explotación selectiva, lo cual generaría ingresos económicos que aumentarían la rentabilidad de la empresa.

En la productividad, esta tendrá como indicadores el cumplimiento del tonelaje de acuerdo con las leyes programadas.

Además, constituye una posibilidad económica para que la empresa afronte, de la mejor manera, las constantes fluctuaciones del precio de los metales. Remarcando que, existiendo la viabilidad para su implementación, se estaría en condiciones de generar mayor mineral de alta ley que contribuya a regular el mineral masivo que se produce.

#### **1.3.1 Justificación social**

Se tiene presente que el recurso humano es lo más importante para una organización por ello el presente estudio propone la implementación de un método de recuperación de puentes teniendo la participación y responsabilidad de las

diferentes áreas que integran a la gerencia de operaciones, así brindamos a los trabajadores involucrados las condiciones para que puedan desempeñarse en sus actividades con la seguridad de que se tiene en cuenta su integridad física y psicológica. La empresa al comprometerse con la garantía de preservar la salud y seguridad de sus trabajadores se compromete con la familia de cada uno de ellos en retornar a sus hogares a tan importante integrante.

### **1.3.2 Justificación académica**

En el desarrollo del presente estudio implementamos el método de *sub level caving* para la recuperación de puentes en el método de corte y relleno, siendo este el aporte académico hacia nuestra carrera, el presente estudio es un ejemplo en sus diferentes áreas, ya que involucra a Geología, Planeamiento, Geomecánica, Ventilación, Operaciones en una sinergia que está sujeta y acompañada a cumplir con el sistema de seguridad y salud ocupacional. Por ello el aporte es bastante significativo y completo para la actividad minera en el país y a nivel internacional.

### **1.3.3 Justificación económica**

En las diferentes minas del país, se conoce que uno de los métodos más empleados por los yacimientos que encontramos es el del corte y relleno, ya sea mecanizado o convencional, en este método dejamos un puente por seguridad, por lo que dejamos mineral de valor económico. La presente investigación aporta el estudio de la recuperación de mineral valioso, que consideramos como mineral regulador sobre las leyes en el tonelaje programado, generando el alcance de las leyes en la explotación de nuestros tajos. En la aplicación de la presente recuperación de puentes es cierto decir que el beneficio económico es rentable para puentes de alto valor económico.

## **1.4 Hipótesis de la investigación**

### **1.4.1 Hipótesis general**

La implementación de la recuperación de puentes aplicando el método *sub level caving* impactará positivamente en el cumplimiento del programa de producción de la unidad de producción Yauricocha Sociedad Minera Corona S. A.

#### **1.4.2 Hipótesis específicas**

- a) La recuperación de reservas del tajo 2700 influirá positivamente para el alcance del programa de producción de la unidad de producción Yauricocha Sociedad Minera Corona S. A.
  
- b) La evaluación geomecánica nos permitirá recuperar más del 30 % de reservas del puente dejado en el tajo 2700 de la unidad de producción Yauricocha Sociedad Minera Corona S. A.

#### **1.5 Identificación de Variables**

##### **1.5.1 Variable dependiente**

Y: Alcance del programa de producción

##### **1.5.2 Variable independiente**

X: Recuperación de puente

#### **1.6 Matriz de operacionalización de variables**

**Tabla 1. Matriz de operacionalización de variables**

Variable	Definición conceptual	Definición operacional		
		Dimensiones	Sub - dimensiones	Indicadores
VD: Alcance del Programa de Producción	Es el cumplimiento del plan proyectado de producción de mineral establecido en un determinado tiempo.	Programa de producción mensual.	Programa de tonelaje (t/mensual) Programa de leyes (%Pb)(%Cu)(%Zn)	Tonelaje ejecutado (t/mensual) Leyes ejecutado (%Pb) (%Cu)(%Zn)
VI: Recuperación de puente	Es la acción de retirar el mineral dejado como puente en la explotación del cuerpo mineralizado.	Definición del puente. Comprensión del macizo rocoso	Identificación de reservas en el puente (t) Evaluación de Geomecánica.	Tonelaje a recuperar del puente (t) RMR

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1 Antecedentes del problema**

a) Tesis titulada: «*Recuperación de puentes de mineral para el incremento de la producción y ley de cabeza en Compañía Minera Kolpa S. A.*», presentada por Alan Chucuya Gomez. La investigación tuvo como objetivo general recuperar el puente de mineral del tajeo 795 para incrementar la producción y la ley de cabeza en compañía Minera KOLPA S. A. El objetivo específico fue realizar el adecuado plan de extracción para la recuperación del puente de mineral para incrementar la ley de cabeza en la compañía minera KOLPA S. A. Se tuvo como resultado, recuperar la extracción del puente de mineral del tajeo 795 e incremento la producción de 28300 t a 29 854 t promedio mensual y con un valor económico de 133 \$/t a 165 \$/t promedio mensual. En compañía Minera Kolpa en coordinación con las diferentes áreas como Operación Mina, Servicios, Planeamiento, Geomecánica, Geología, Control de Calidad, Ventilación, etc. Se logra realizar un adecuado plan de minado y se recuperó el puente de mineral en el tajo 795 (1).

b) Tesis titulada: «*Recuperación de puentes de mineral mediante taladros largos en los tajeos de explotación en la mina Huanzala – CIA. Minera Santa Luisa S. A.*» presentado por Grover Cutti Huallpa. La investigación tuvo como objetivo principal conocer la forma de recuperación de los puentes en los tajeos de explotación de la unidad minera Huanzalá. El objetivo específico fue determinar

la técnica de recuperación de los puentes en los tajeos de explotación de la unidad minera Huanzalá. Se tuvo como resultado la factibilidad de aplicación de recuperación del mineral empleando taladros largos. Los estudios geomecánicas realizados en los tajeos de explotación dan a conocer que es factible la explotación por taladros largos (2).

- c) Tesis titulada: «*Recuperación de pilar de tajo antiguo de nivel 400 intermedio de la sección I empleando el método de subniveles con taladros largos en la empresa minera Los Quenuales S. A. – U.M. Yauliyacu*» presentado por Rosel Andy Ramos Arroyo. La investigación tuvo como objetivo general determinar la influencia de la recuperación de pilar de tajo antiguo empleando el método de subniveles con taladros largos en la empresa minera Los Quenuales S. A.- U.M. Yauliyacu. El objetivo específico fue determinar económicamente la factibilidad en la recuperación de tajo antiguo empleando el método por subniveles con taladros largos en la empresa minera Los Quenuales S. A.- U.M. Yauliyacu. Se tuvo como resultado que recuperando los pilares de tajo antiguo convencionales se logró cumplir con el tonelaje programado, de estos pilares ayudó en las leyes finales de los minerales. Donde por el método SLV se incrementó por la recuperación de pilares de tajo antiguo convencional en la sección I, donde en total se incrementó en 156 000 toneladas durante el año 2018. La dilución de los tajos bajo en los cuatro meses últimos por el control de las cajas del tajo y el trabajo se realizó con 1.03 factor de potencia, la distribución de los exsaneles fue de periodo corto en la voladura de tajo esto ayudo a mejorar los resultados. El método de recuperación del pilar de tajo 747S del nivel 400 intermedio de la sección I costo de perforación \$2.05t, accesorios es \$0.31t, voladura \$1t, limpieza \$2.04t, sostenimiento \$2.47t. El costo total de recuperación tajo 747S de nivel 400 intermedio de sección I es de \$ 40.52t, donde se reduce \$0.43t del promedio de costos del año 2018 en la extracción de minerales, se realiza la recuperación del pilar de tajo antiguo en forma retirada para evitar derrumbes y evitar la exposición al peligro el recurso humano (3).

## **2.2 Bases teóricas**

Los puentes en minería son la porción de roca que es dejada de forma intencional con la finalidad de reducir deformaciones y mantener la estabilidad de la mina. En los últimos años los pilares de roca, dentro de ellos también los puentes, son dejados al mínimo tamaño e incluso son recuperados o extraídos, al encontrar en ellos mineral.

Para el cálculo de estabilidad y diseño se usan expresiones empíricas para calcular la resistencia, un concepto de carga tributaria como carga actuante en estas estructuras lo explica Brady and Brown. La mayoría de estas expresiones empíricas fueron realizadas para roca poco competente en minas de carbón, en rocas competentes estas expresiones son menos satisfactorias, para rocas duras se debe utilizar con ligeras modificaciones el estudio de Kersten en 1984. Estas expresiones son pocas y han sido usadas en pilares horizontales y pilares puente al tener una limitada data de este estudio.

En la aplicación de los criterios empíricos el mayor inconveniente de las aproximaciones empíricas es que no logran explicar el comportamiento mecánico del pilar puente, ni una falla mecánica, ni las variaciones de resistencia, ni condiciones de carga de forma particular.

## **2.3 Generalidades de la unidad minera Yauricocha**

### **2.3.1 Ubicación**

La mina Yauricocha se encuentra situada políticamente en el distrito de Alis, provincia de Yauyos, departamento de Lima, en donde se establecen el área de la mina, la planta Chumpe y otras unidades auxiliares como oficinas y laboratorios. Localizada geográficamente en la zona alta de la cordillera occidental andina, en las nacientes de uno de los afluentes del río Cañete, el que desemboca al océano Pacífico. El área de la mina se encuentra a una altitud promedio de 4600 m s. n. m.

### **2.3.2 Accesibilidad**

Las vías de acceso a la mina Yauricocha son:

Vía terrestre	Distancia
Lima – Huancayo – Chupaca – Tinco – Yauricocha	420 km
Lima – Cañete – Tinco – Yauricocha	370 km
Lima – La Oroya – Pachacayo – Yauricocha	330 km

### **2.3.3 Clima**

El clima de la región es frígido, con dos estaciones bien marcadas, la húmeda, de noviembre a abril, con precipitaciones principalmente sólidas, y la seca durante el resto del año. Durante la estación húmeda las precipitaciones solidas alimentan los glaciares, para luego formar riachuelos que descienden por laderas y alimentan a las lagunas (4).

### **2.3.4 Topografía**

En el distrito minero de Yauricocha, la topografía es abrupta, tipo alpina y la erosión Pliocena de la superficie es claramente reconocible en el ondulado campo abierto al NE de la divisoria continental, mientras que, al suroeste, el terreno se encuentra dividida por profundos valles, cañones y aun así la erosión superficial se encuentra marcada por picos de un promedio de 5000 metros de altura.

Los valles arriba de los 4000 metros de altura muestran los efectos de la glaciación Pleistocena: morrenas laterales, terminales, valles en forma de U, valles colgados y lagunas excavadas por glaciares se encuentran bien desarrollados (4).

## **2.4 Geología de la unidad minera Yauricocha**

### **2.4.1 Marco geológico regional**

#### **2.4.1.1 Geomorfología**

El escenario de estudio se encuentra emplazado en la vertiente oeste de la cordillera occidental de los andes del Perú central, en la cuenca alta del río Cañete, subcuenca Alis, a una altitud media del orden de 4600 m s. n. m.

A nivel regional se distinguen las siguientes unidades:

Unidad glacial, ubicada entre los 4800 a 5000 m s. m. m., con una gradiente del talud entre 35 % a 50 %. Las montañas están cubiertas de lagunas de tipo glacial y glacial/nevados. La pendiente es bastante fuerte. El ascenso continuo de los límites de la nieve "perpetua" muestra un proceso de derretimiento del hielo.

Unidad alpina, ubicada entre los 3500 a 4800 m s. n. m., con una gradiente del talud entre 5 % a 30 %. La acción glacial y fluvial - glacial domina la característica topográfica, formando un valle en "U", llanos pantanosos, cubetas, lagunas glaciales, colinas ovaladas de origen pluvial, etc. Los depósitos glaciales y fluvio glaciales se encuentran ampliamente distribuidos. La estabilidad de taludes es en general buena. El área de estudio se encuentra emplazada en esta unidad (5).

#### **2.4.1.2 Estratigrafía**

Regionalmente, en este territorio se han identificado rocas sedimentarias e ígneas. Las formaciones sedimentarias aflorantes se disponen en franjas que siguen una orientación general paralela a la cordillera de los andes.

La columna estratigráfica de la zona comprende un conjunto de rocas sedimentarias cuyas edades van desde el Jurásico superior hasta el Terciario. El Cuaternario representado por depósitos inconsolidados de origen glacial, fluvio-glacial, fluvioaluviales, coluviales, eluviales, etc.

Las unidades sedimentarias están representadas por las formaciones: Oyón-Chimú (JsKi-och), Goyllarisquizga - Pariahuanca (Ki-gp), Santa (Ki-sa), Carhuaz (Ki-ca), Chulec (Ki-chu), Pariatambo (Ki-pt), Jumasha (Ks-ju), Celendín (Ks-ce), Casapalca (KsP-c), Tantará (P-t). Estas unidades se disponen en franjas que siguen una orientación general NO - SE paralela a la cordillera de los Andes y están afectadas por plegamientos anticlinales - sinclinales y fallamientos e intruídas por rocas ígneas plutónicas de tipo granodiorita alineadas con el rumbo andino (5).

#### **2.4.1.3 Rocas intrusivas**

La granodiorita se encuentra presente como un gran cuerpo intrusivo con orientación NO-SE, de aproximadamente 15 km de longitud. La composición varía

de granodiorita a cuarzo-monzonita a lo largo de los bordes. Este intrusivo posee contactos bien definidos con los sedimentos a su alrededor y su emplazamiento generalmente sigue la orientación andina NO-SE y los planos estratigráficos.

El intrusivo ha producido una aureola de metamorfismo en el contacto con las rocas adyacentes originando cuarcitas, lutitas hornféisicas y calizas recristalizadas. Merece resaltar que en el área de estudio aflora ampliamente la roca granodiorita, la cual se encuentra parcialmente cubierta por depósitos inconsolidados del Cuaternario tales como eluviales, morrenas, etc. (5).

#### **2.4.1.4 Aspectos geoestructurales**

Las fuerzas compresivas creadoras de la cordillera de los Andes han plegado la secuencia sedimentaria en forma de anticlinales y sinclinales apretados con ejes de orientación andina y fallamiento.

Varios pliegues conforman las estructuras principales del área de Yauricocha: el anticlinal Purísima Concepción ubicado al SO de la mina Yauricocha es una estructura local apretada, bien marcada y definida por un sill de basalto de 17 m de espesor. El "trend" de su eje es aproximadamente N 50° O con suave "plunge" de 20° al SE.

El sinclinal France Chert, ubicado al NE de la mina, es un pliegue igualmente apretado con "trend" de su eje que cambia de N 35° O a N 65° O y suave "plunge" de 40° al SE. En el flanco occidental de este pliegue y en calizas bandeadas sin plegamientos subsidiarios, se encuentra el depósito mineral Yauricocha.

El anticlinal Cachi Cachi - Prometida, tiene su eje con rumbo aproximado de N 80° O a N 70° O, flancos buzantes al norte (Prometida) y sur (Cachi Cachi) con "plunge" al este, los cuales controlaron el emplazamiento del mineral. Otra estructura principal es la falla Yauricocha que aparece a lo largo del contacto entre las calizas Jumasha y las lutitas Celendín. (5)

## **2.5 Mineralización**

### **2.5.1 Vetas**

Las vetas ocurren en la caliza Jumasha como intrusivo, siendo este en el que se desarrollan mejor. En mina Cachi Cachi, Central, Victoria, Éxito, Ipillo y en operaciones de superficie podemos agrupar las vetas en tres principales sistemas: el primero de rumbo N70°-80°W con buzamiento 60°-80°SW o NE; el segundo de rumbo N70°-80°E con buzamiento 65°-80°NW y el tercero de rumbo ligeramente E-W con buzamiento N y S.

Presentan sus dimensiones horizontales y verticales relativamente cortas, teniendo una potencia variable de 0,50 m a 2,50 m.

En la caliza, la mineralización de vetas se presenta, mayormente, de pirita, esfalerita, galena con algo de cuarzo, enargita, galena, esfalerita, covelita, fluorita, hematita, blenda rubia y/o electrúm (4).

### **2.5.2 Cuerpos**

En Yauricocha, los cuerpos que encontramos son de configuración irregular, que vistos en plano presentan la forma aproximada de lentes, sus ejes mayores son paralelos al rumbo general de los estratos (NW-SE) y buzan a gran ángulo al NE o se acercan a ser verticales. Las dimensiones verticales son casi siempre mayores que las horizontales, habiendo casos donde estos cuerpos se extienden por más de 650 m debajo de la superficie; los anchos que presentan son variables de 10 m a 40 m, tendiendo a ser fusiformes en profundidad.

Los cuerpos están emplazados en la caliza Jumasha, así como se encuentran agrupados dentro de la caliza como a lo largo del contacto con las lutitas Celendín (France Chert) y en contacto con las masas de intrusivo.

Los cuerpos presentan una disposición bastante irregular, algunos aparecen interconectados entre sí formando amplias zonas mineralizadas, otros aparecen

interconectados formando áreas relativamente grandes y por último, aparecen como unidades individuales, aislados de los demás cuerpos.

La mineralización en los cuerpos está formada principalmente por la pirita, cuarzo, enargita, calcopirita, bornita, covelita, en el núcleo o parte central y alrededor de estos núcleos se encuentran masas sueltas de pirita friable, galena, esfalerita, tetraedrita y geocronita con algo de calcopirita en una manga de caliza arcilla y cuarzo (4).

## **2.6 Geomecánica**

Actualmente, Sociedad Minera Corona S. A. viene explotando el yacimiento Yauricocha, utilizando el método de minado de *sub level caving* (hundimiento por subniveles) y corte y relleno ascendente. La explotación se inició en cuerpos por la parte superior del yacimiento, la cual tiene la peculiaridad que la masa rocosa mineralizada como las rocas de las cajas son de mala calidad (6).

### **2.6.1 Macizo rocoso**

La cuantificación de las características geomecánicas y estructurales de las rocas circundantes a las estructuras mineralizadas, tienen una justificación técnica y económica para una explotación segura, racional y rentable. Su utilización está orientada al planeamiento y diseño, selección de equipos, diseño de la perforación, voladura y sostenimientos de labores (6).

#### **2.6.1.1 Levantamiento geomecánico**

Para la caracterización, se registraron datos a partir del mapeo geotécnico de campo, se utilizó el “método directo por celdas de detalle” (línea de detalle), mediante este método se realizaron mediciones sistemáticas de las discontinuidades presentes en una estación de medición (Pm), representadas por un tramo variable de la roca expuesta en las excavaciones en interior mina.

Para esta evaluación los parámetros de observación y medición fueron obtenidos en formatos de registros, adecuándolos a las normas sugeridas por la Sociedad

Internacional de Mecánica de Rocas (ISRM). Estos parámetros fueron: tipo de roca, tipo de sistema de discontinuidades, espaciado, orientación, apertura, persistencia, rugosidad, tipo de relleno, espesor de relleno, intemperización y presencia de agua. Adicionalmente registramos datos de resistencia de la roca y la frecuencia de fracturamiento.

Cada celda de detalle constituye una estación de medición (Pm). En el nivel 720 se realizaron mapeos en 07 estaciones, nivel 770 en 05 estaciones, nivel 820 en 06 estacionamientos, nivel 870 en 05 estaciones y en el nivel 920 se realizaron 04 estacionamientos (6).

#### **2.6.1.2 Distribución de discontinuidades**

Para determinar las características de la distribución de discontinuidades, la orientación y buzamiento de discontinuidades se realizó mediante técnicas de proyección estereográfica, utilizando el programa DIPS. El diagrama estereográfico presenta tres sistemas de discontinuidades en total el área de estudio, formados principalmente por fallas y diaclasas cuyas orientaciones promedio son:

Sistema 1: rumbo  $352^{\circ}$  y buzamiento  $17^{\circ}$

Sistema 2: rumbo  $177^{\circ}$  y buzamiento  $13^{\circ}$

Sistema 3: rumbo  $243^{\circ}$  y buzamiento  $15^{\circ}$

De estos tres sistemas, el primero predomina en mayor proporción en las cajas como el cuerpo mineralizado, respecto a los otros dos sistemas.

Localmente, también encontramos otros sistemas de discontinuidades secundarias. También hay una considerable cantidad de discontinuidades aleatorias en toda el área de estudio, lo cual es el reflejo del alto grado de fracturamiento de la masa rocosa (6).



También detallamos las calidades de roca encontrados en la caracterización geomecánica realizada con metodología RMR en lo que corresponde a las rocas presentes en mina Yauricocha. Asimismo, presentamos los resultados obtenidos en el mapeo de los cuerpos masivos (6).

**Tabla 3. Clasificación geomecánica según tipo de roca**

UNIDAD ESTRATIGRAFICA	UNIDAD LITOLÓGICA	VALORACION SEGÚN RMR	CLASE DE ROCA
STOCK INTRUSIVO	MONZONITA	65	II - BUENA
FORMACION JUMASHA	CALIZAS	55	III - REGULAR
FORMACION CELENDIN	LUTITAS SILICIFICADAS, MARGAS - PIZARRAS	28	IV - MALA
CUERPO MINERALIZADO	SULFUROS - OXIDOS	8. - 12	V - MUY MALA

*Tomada del área de Geomecánica SMCSA*

#### 2.6.1.4 Zonificación geomecánica

En la aplicación racional de los diferentes métodos de cálculo de la mecánica de rocas, es necesario que la masa rocosa bajo análisis este dividida en áreas de características estructurales y mecánicas similares, debido a que el análisis de los resultados y los criterios de diseño serán válidos solo dentro de masas rocosas que presenten propiedades físicas y mecánicas similares.

El arreglo o modelo estructural de la masa rocosa y calidad de esta son consideraciones importantes para tomarse en cuenta para la delimitación de los dominios estructurales. En nuestro caso tiene la mayor importancia la calidad de la roca que el modelo estructural, dado que la masa rocosa circundante a la explotación generalmente es de calidad mala a muy mala. En estas condiciones los mecanismos de rotura o de inestabilidad de la roca estarán mayormente asociados a la calidad de la roca mala antes que el arreglo estructural de la masa rocosa (6).

#### 2.6.1.5 Tensiones en el macizo rocoso

Todos los macizos rocosos en estado natural están sometidos a tensiones a causa de su propio peso de las capas suprayacentes, confinamiento e historia de tensiones, por lo que es fundamental conocer la magnitud y orientación de esta

tensión espero la determinación del estado tensional del macizo rocoso es uno de los problemas más complejos que hay en mecánica de rocas. Las tensiones existentes en los macizos rocosos pueden agruparse en dos grupos: naturales e inducidos.

Dentro de las tensiones naturales se encuentran las tensiones litostáticas, las mismas que se producen a causa del peso de la columna de roca por unidad de área de un segmento de la corteza terrestre. Para determinar la tensión vertical usamos:

$$\sigma_v = \gamma Z$$

Donde:

$\gamma =$  *Peso específico*

$Z =$  *Profundidad*

Esta tensión compresiva vertical origina esfuerzos laterales horizontales al tender las rocas a expandirse en direcciones transversales con respecto a las cargas verticales (6).

## **2.7 Método *sub level caving* en Sociedad Minera Corona S. A.**

### **2.7.1 Descripción del método**

Los métodos de explotación subterránea son excavaciones creadas con distintos cometidos, sus técnicas constructivas engloban ciencia, ingeniería y arte. El *sub level caving* es un método basado en la utilización de la gravedad del mineral derrumbado, en Sociedad Minera Corona aplicamos este método desde el 2004. Este nace como un método aplicable a roca incompetente que colapsa después de retirar la fortificación, aunque en épocas recientes el método ha sido adaptado a roca de mayor competencia que requiere perforación y voladura; en el método se construyen ventanas fuertemente sostenidas con cimbras a través del cuerpo mineralizado, la explotación es en retirada, se provoca que mineral fluya por gravedad mediante provocación con Barretillas o mediante perforación y voladura

en cada bolsillo de la ventana, luego ingresamos equipos para el acarreo de mineral hacia las zonas de carguío o acumulación, hasta que la dilución llegue a un punto excesivo en el que tengamos que continuar hacia los otros bolsillos u otras ventanas.

### **2.7.2 Preparación del tajo**

Llegamos y acompañamos al cuerpo mineralizado mediante la construcción de una rampa que en Sociedad Minera Corona tiene gradiente de 11 % y sección de 3.5 x 3.5 metros.

Nuestros niveles tienen una diferencia de cotas de 50 metros que dividimos en tres y nombramos piso: 0, 8 y 16. En estos pisos construimos un subnivel por piso de 3.5 x 3.5 metros que nos permitirá acercarnos a 10 metros aproximadamente al cuerpo mineralizado.

Con la creación de subniveles, construimos las ventanas, que están espaciadas 8 metros de eje a eje quedando pilares de 5 metros, que atraviesan al cuerpo mineralizado.

### **2.7.3 Preparación de ventanas**

Partimos del subnivel creado hacia el cuerpo mineralizado, ingresando con perforación y voladura con jumbo de barreno de 10 pies, al hacer contacto con el mineral la perforación y voladura es con maquina Jack Leg usando barreno de 4 pies como máximo, esto por el sostenimiento que es instalando cimbras cada metro.

Después de la perforación y voladura en mineral, ingresamos 6 marchavantes de riel de 60 o 75 lb/yd como guarda cabeza, continuamos con en entablado entre los marchavantes para así tener segura la zona para la limpieza del frente con Scooptram de 3.5 o 4.1 yardas cubicas de cuchara.

Limpio el frente, el personal o el minicagardor con accesorio de percusión ingresa a realizar el picado de patillas de ambos extremos para el armado de cimbra H6-25 lb/pie tipo baúl de sección 3.5 x 3.5 metros, después del armar y asegurar la cimbra procedemos con el empaquetado entre cimbras. Acompañamos el armado de cimbras arriestrándolas, que es el soldar rieles de 25 ls/pie entre cimbras, hasta llegar al contacto con roca caliza o estéril, que nos señala el fin del cuerpo mineralizado en el que tras la instalación de la última cimbra se coloca un tapón de madera para evitar la dilución de la ventana.

#### **2.7.4 Explotación del tajo**

El minado del tajo esta emparejado a la secuencia del jale de mineral, que es importante para disminuir la dilución y aumentar la recuperación. Al cuerpo se ingresa por la caja piso y se explotan los bolsillos de caja techo en retirada en cada ventana, iniciando la explotación por las ventanas de los extremos, dejando las ventanas del centro para el final.

La explotación al ser en retirada se inicia con las últimas cimbras, el control de la explotación en este método es abriendo y cerrando el encostillado de tablas de los costados de las cimbras, que nos sirven como compuertas en cada bolsillo. Realizamos la perforación y voladura de bolsillos si no encontramos el flujo de mineral, retiramos el entablado de los hastiales de los bolsillos para la perforación y voladura que es como si la realizáramos en frentes de 3 x 3 metros solo que incluimos tubos para cada taladro para evitar la obstrucción de los taladros, con este disparo generamos nuestra cara libre para perforar y disparar la corona por taladros en forma radial de hasta 14 metros estos realizados con Jumbo RDH.

La dilución en este método se puede controlar por el conocimiento que tenemos de las elipses que se generan con el jale de mineral y así cambiar de bolsillo o ventana cuando la dilución llegue a un punto excesivo, en las ventanas este método también nos permite ser selectivos en el jale de mineral muestreando cada bolsillo, en consecuencia podemos identificar las leyes de cada bolsillo y programar la

explotación de bolsillos de acuerdo a sus leyes, hecho que también nos permite realizar el blending entre diferentes bolsillos.

### **2.7.5 Seguridad en el método sub level caving**

En Sociedad Minera Corona S. A. unidad Yauricocha encontramos cuerpos mineralizados en los que podemos aplicar el método de *sub level caving* sin y con presencia de agua; en ambos casos se construyen chimeneas para la evacuación de personal por escaleras instaladas.

En los tajos con presencia de agua se tiene el peligro más significativo porque los riesgos son el atrapamiento de personal, equipos y/o máquinas por la carga húmeda que invade las excavaciones que preparamos para la explotación, lo controlamos, realizando mediciones constantes de caudales en zonas donde aparece agua, identificando los cambios de caudal para determinar el pare de la explotación de ventanas. En cuerpos mineralizados con presencia de agua se instalan cámaras de video que son monitoreadas desde la entrada por un vigía, que tiene la única tarea de realizar un seguimiento a la pantalla de donde se puede apreciar todas las ventanas que tienen este peligro, si se concreta la expulsión de carga de alguna venta, el vigía debe accionar la alarma para que se evacue el tajo.

## **2.8 Definición de términos básicos**

- **Acarreo.** Traslado de materiales hacia un destino señalado (7).
- **Blending.** Término en ingles usado en minería para referirse a la mezcla o dosificación de carga.
- **Bolsillo.** Es el espacio entre dos cimbras referentes a los hastiales, presenta enmaderado que se retira para la salida de carga en el método *sub level caving*.
- **Cimbra.** Arco de acero que cumple la función de sostenimiento pasivo en túneles.

- **Corte.** Es una división horizontal que se le da a un cuerpo mineralizado para su explotación.
- **Deformación.** Es el cambio en la forma que sufre un cuerpo, como consecuencia de esfuerzos con los que interactúa o con también por la temperatura.
- **Desmonte.** Es la carga que no tiene valor económico producido en el avance de labores de preparación y/o desarrollo.
- **Dilución.** Es la mezcla de material estéril con mineral, que ocasiona la pérdida de ley del mineral.
- **Emulnor.** Emulsión explosiva encartuchada que posee propiedades de seguridad, potencia, resistencia al agua y buena calidad de los gases de voladura (8).
- **Estéril.** Carga sin presencia de mineral valioso.
- **Explosivo.** Son compuestos químicos susceptibles de decomposición muy rápida que generan instantáneamente gran volumen de gases a altas temperaturas y presión ocasionando efectos destructivos (7).
- **Guarda cabeza.** Conjunto de elementos que se utilizan para trabajos con el riesgo de caída de roca, estos elementos pueden ser puntales de madera o rieles acompañados de tablas que cubren los espacios vacíos.
- **Ley.** Es la medida que describe el grado de concentración de elementos presentes en los minerales.
- **Marchavante.** Riel de acero usado para guarda cabezas.
- **Mineral.** Es una sustancia inorgánica natural, que posee estructura atómica y composición definida, que en ocasiones se puede estar asociado a otro tipo de roca (9).

- **Peligro.** Situación o característica intrínseca de algo capaz de ocasionar daños a las personas, equipos, procesos y ambiente (7).
- **Puente.** Capa de mineral dejado en el techo por medida de seguridad, para prevenir un riesgo de colapso de la excavación.
- **Recuperación.** Es la acción de continuar con la explotación de mineral dejado, también es reusar materiales que siguen siendo útiles.
- **Relleno.** Es el material estéril que se ingresa a tajos como reemplazo de espacio del mineral extraído.
- **Riesgo.** Probabilidad de que un peligro se materialice en determinadas condiciones y genere daños a las personas, equipos y al ambiente (7).
- **RMR.** Criterio de clasificación geomecánica para valorar el macizo rocoso según Bieniawski.
- **Sub level caving.** Denominación en inglés que se le da al método de explotación de “Hundimiento por subniveles”, que consta en aprovechar cuerpos mineralizados con roca no muy competente, fracturado para que por gravedad descienda hacia a un subnivel preparado para su extracción.
- **Tajo.** Labor temporal de donde se explota mineral (3).
- **Valor de mineral.** Es valor de mineral por tonelada *in situ*, según las leyes de los ensayos (10).
- **Ventana.** Labor temporal que nace de un subnivel, cruza el cuerpo mineralizado y es donde desciende el mineral en el método de *sub level caving*.

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **3.1 Método y alcance de la investigación**

##### **3.1.1 Tipo de estudio**

El trabajo es de tipo de investigación aplicada por utilizar conocimientos del hundimiento por subniveles que permiten desarrollar la implementación de la recuperación de puentes dejados por tajos de corte y relleno ascendente, con el objetivo de influir en el alcance de la producción.

##### **3.1.2 Nivel de Investigación**

- **Método:** el método científico consiste en un proceso que formula problemas con la finalidad de establecer y enunciar leyes fundamentadas en la observación de los hechos y las investigaciones realizadas a la fecha.
  
- **Alcance de la investigación:** la investigación es descriptiva, realizándose en el Tj. 2700 del cuerpo Escondida.

#### **3.2 Diseño de la investigación**

- **Tipo de diseño:** el diseño de la presente investigación es descriptivo, por recolectar, organizar, analizar e interpretar datos, con el fin de describir los estudios y operaciones realizadas involucradas en la implementación que se presenta.

### **3.3 Población y muestra**

#### **3.3.1 Población**

La población son los tajos de corte y relleno de la unidad de producción Yauricocha.

#### **3.3.2 Muestra**

Como muestra se consideró el tajo 2700 en el nivel 920 del cuerpo Escondida.

### **3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

#### **3.4.1 Técnicas de recolección de datos**

Como técnica se tiene el seguimiento y control de las actividades a realizarse, también se tiene la recopilación de datos y formatos involucrados en la implementación de la recuperación del puente del tajo 2700.

#### **3.4.2 Instrumentos de recolección de datos**

En el desarrollo de la investigación tenemos como instrumento el programa Microsoft Office y Phase2 para procesar los datos obtenidos.

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1 Evaluación geomecánica para de la recuperación del puente

Se realiza diferentes ensayos en el laboratorio de mecánica de rocas de la facultad de Geología, Minería y Metalurgia de la Universidad Nacional de Ingeniería. Los resultados de los ensayos son presentados en Anexos.

##### 4.1.1 Propiedades mecánicas de los materiales

Tabla 4. *Propiedades mecánicas del relleno*

Color	
Initial element loading	body force only
Unit weight	0.0213 MN/m <sup>3</sup>
Elastic type	isotropic
Young's modulus	500 MPa
Poisson's ratio	0.3
Failure criterion	Mohr-Coulomb
Peak tensile strength	0 MPa
Residual tensile strength	0 MPa
Peak friction angle	41.52 degrees
Peak cohesion	0.139254 MPa
Material type	Elastic
Piezo to use	None
Ru value	0

**Tabla 5. Propiedades mecánicas de la roca III-A**

Color	
Initial element loading	field stress only
Elastic type	isotropic
Young's modulus	16780 MPa
Poisson's ratio	0.15
Failure Criterion	Generalized Hoek-Brown
Material type	Elastic
Compressive strength	154.29 MPa
mb parameter	2.71514
s parameter	0.001434
a parameter	0.508086
Piezo to use	None
Ru value	0

**Tabla 6. Propiedades mecánicas de la roca III-B**

Color	
Initial element loading	field stress only
Elastic type	isotropic
Young's modulus	23650 MPa
Poisson's ratio	0.11
Failure Criterion	Generalized Hoek-Brown
Material type	Elastic
Compressive strength	94.16 MPa
mb parameter	0.730651
s parameter	0.001434
a parameter	0.508086
Piezo to use	None
Ru value	0

**Tabla 7. Propiedades de la roca IV-A**

Color	
Initial element loading	field stress only
Elastic type	isotropic
Young's modulus	10840 MPa
Poisson's ratio	0.07
Failure Criterion	Generalized Hoek-Brown
Material type	Elastic
Compressive strength	20.23 MPa
mb parameter	2.17523
s parameter	0.000468
a parameter	0.520889
Piezo to use	None
Ru value	0

**Tabla 8. Propiedades mecánicas de la roca IV-B**

Color	
Initial element loading	field stress only
Elastic type	isotropic
Young's modulus	2860 MPa
Poisson's ratio	0.36
Failure Criterion	Generalized Hoek-Brown
Material type	Elastic
Compressive strength	40.8 MPa
mb parameter	1.29063
s parameter	0.000271
a parameter	0.520889
Piezo to use	None
Ru value	0

**Tabla 9. Propiedades mecánicas de la cimbra CB H6**

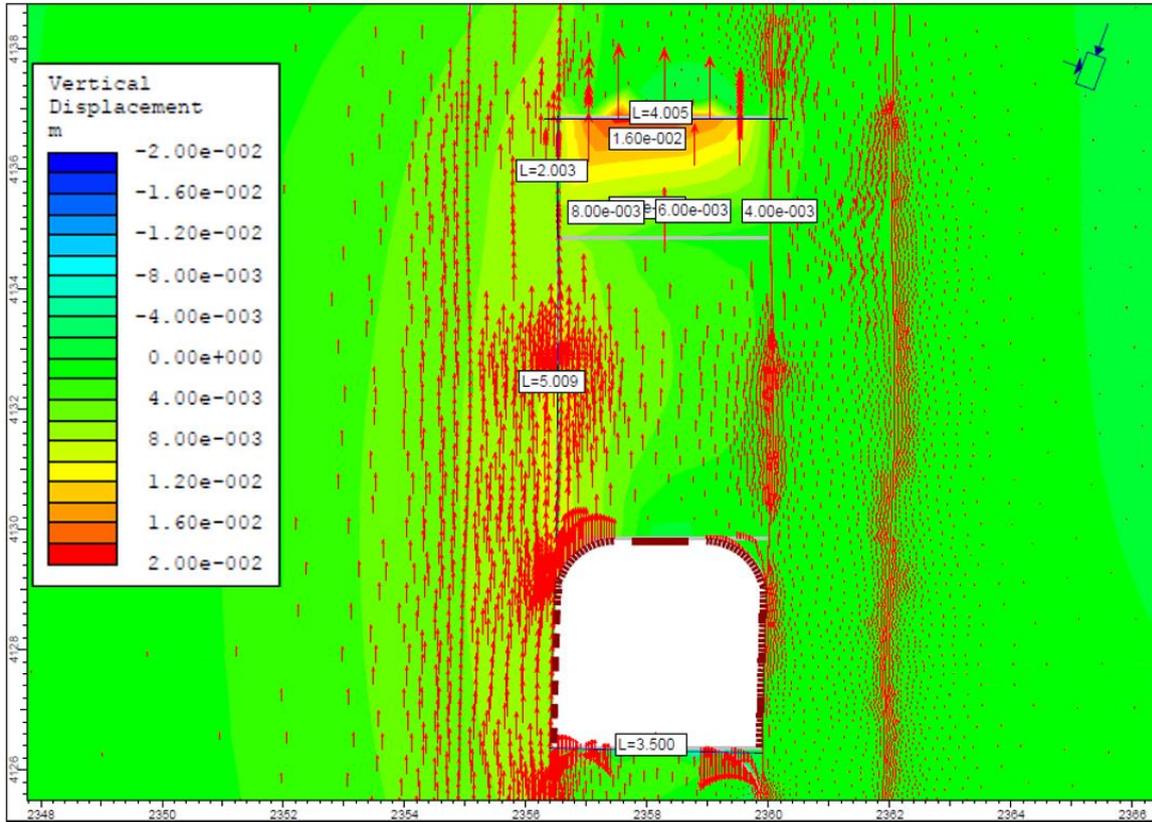
Color	
Liner Type	Reinforced Concrete
Equivalent Young's modulus	4265.39 MPa
Equivalent thickness	0.237071 m
Type	I-beam(W): W6 x 25
Spacing	1 m
Section Depth	0.162 m
Area	0.00474 m <sup>2</sup>
Moment of inertia	2.22e-005 m <sup>4</sup>
Young's modulus	200000 MPa
Poisson ratio	0.25
Compressive strength	400 MPa
Tensile strength	400 MPa

**Tabla 10. Propiedades mecánicas de Split Set 7pies**

Bolt name	SS7
Color	
Bolt Type	Swellex / Split-Set bolt
Tensile Capacity	0.1 MN
Residual tensile capacity	0 MN
Tributary area	232.5 mm <sup>2</sup>
Young's modulus of bolt	200000 MPa
Bond Strength	0.17 MN/m
Shear Stiffness	100 MN/m
Out-of-plane spacing	1.2 m
Face plates	attached
Pre-tensioning	0 MN
Pre-tensioning force	Constant in install stage
Bolt Model	Plastic
Allow Joints to Shear Bolt	Yes

## 4.1.2 Modelo geomecánico para la recuperación del puente

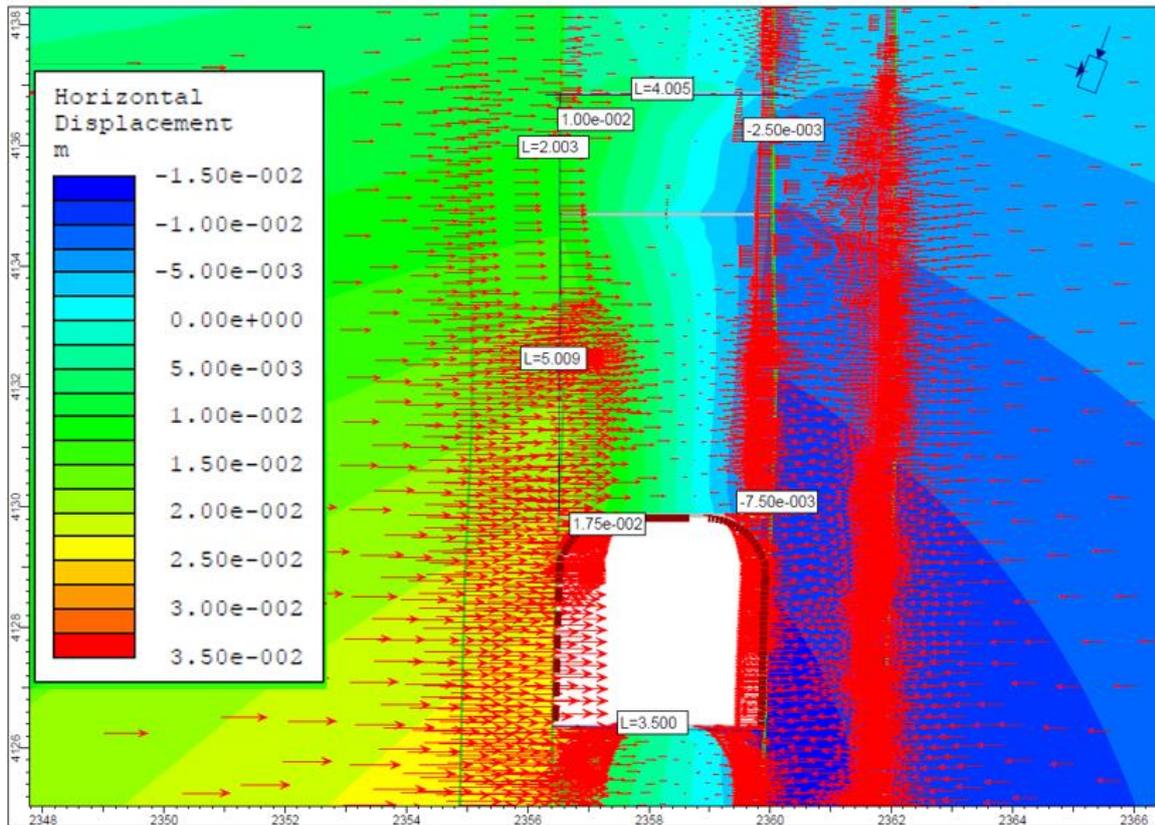
### 4.1.2.1 Desplazamiento vertical



**Figura 2. Simulación del desplazamiento vertical en la recuperación del puente del tajo 2700**

La simulación está desarrollada en el programa Phase2, se puede observar que los mayores desplazamientos se dan en la zona horizontal superior del puente dejado, en esta zona encontramos desplazamientos positivos de  $1.20e-002$  y  $2.00e-002$  m.

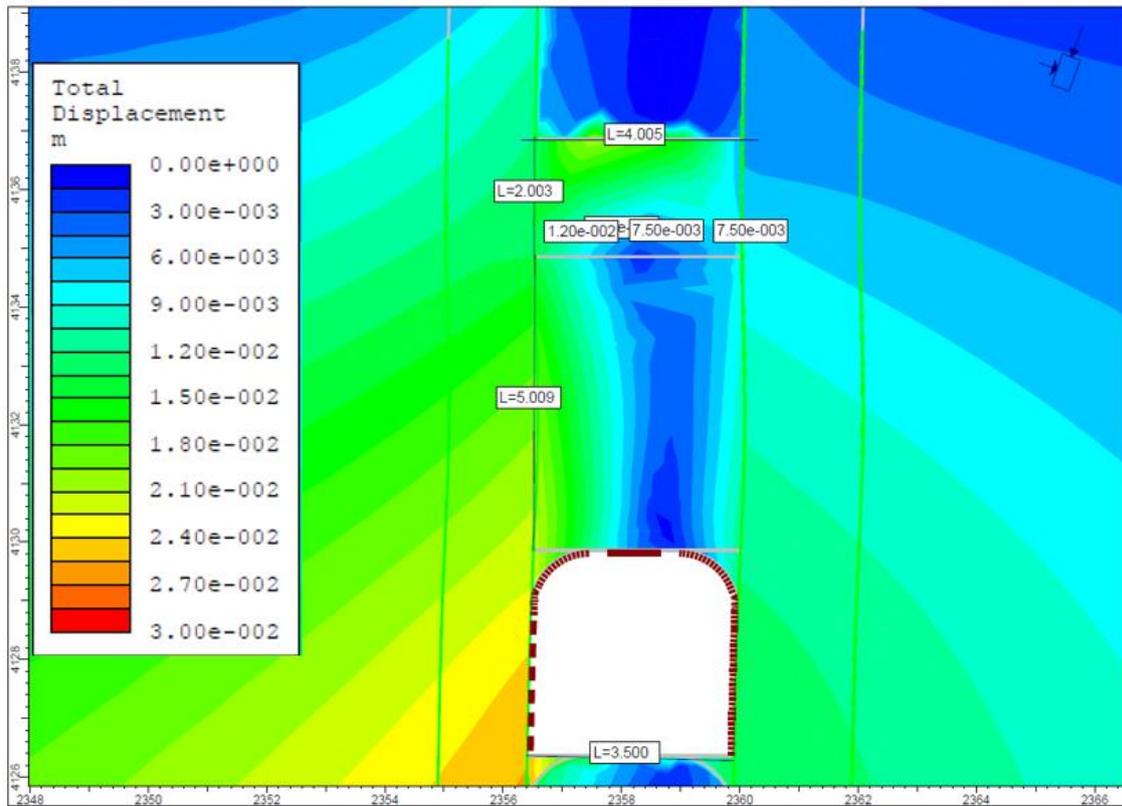
#### 4.1.2.2 Desplazamiento horizontal



**Figura 3. Simulación de desplazamiento horizontal para la recuperación del puente del tajo 2700**

La simulación está desarrollada en el programa Phase2, en esta se puede observar la convergencia de los esfuerzos horizontales en la zona de la recuperación del puente.

### 4.1.2.3 Desplazamiento total



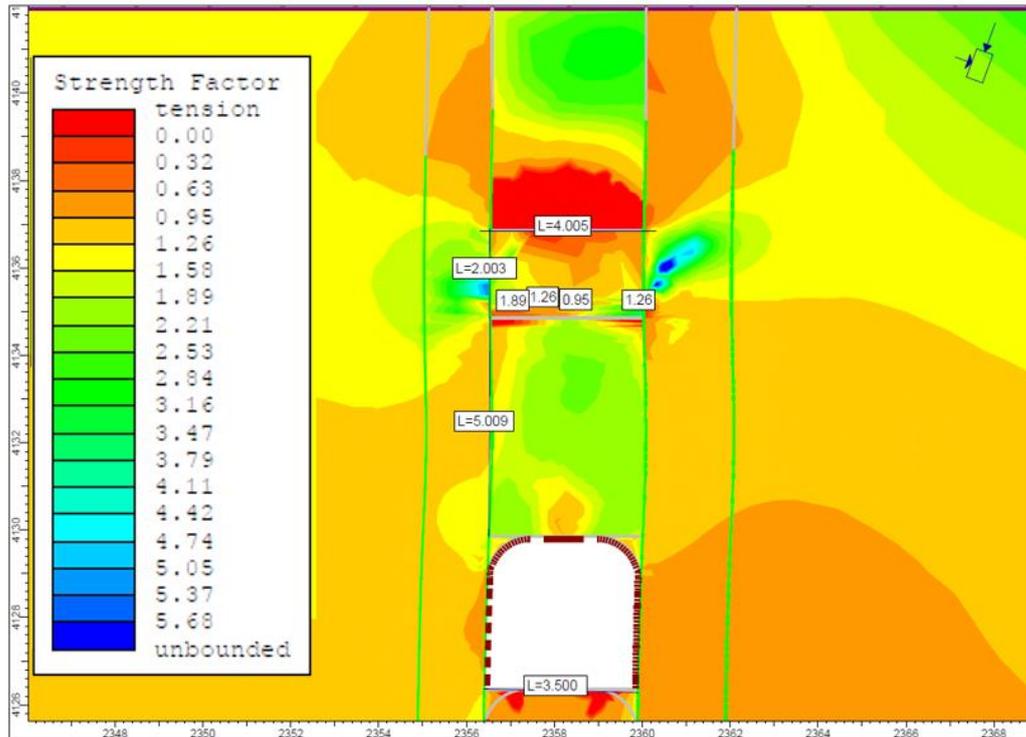
**Figura 4. Simulación de desplazamiento total para la recuperación del puente del tajo 2700**

La simulación está desarrollada en el programa Phase2, se puede observar las zonas de desplazamientos horizontales y verticales en la recuperación del tajo 2700.

### 4.1.3 Puente mínimo para la recuperación del puente

El puente mínimo está directamente relacionado al factor de seguridad, el cual debe ser mayor a 1.1 para su aprobación.

Para la determinación del puente mínimo simulamos la recuperación y así obtenemos el factor de seguridad en diferentes puntos.



**Figura 5. Simulación para obtener el factor de seguridad en la recuperación del tajo 2700**

En zonas cercanas al contacto superior del puente y estéril arroja que el factor de seguridad es de 0.32, el factor de seguridad, que es más frecuente, es el de 1.26.

Para determinar el factor de seguridad tomamos el promedio, el cual es de 1.34, factor de seguridad que permite continuar con la recuperación del puente dejando un nuevo puente mínimo de 2 metros.

#### **4.1.4 Recomendación geomecánica para la recuperación del puente**

El tajo ha sido explotado por corte y relleno ascendente, teniendo el último piso sostenido con *shotcrete* de 2 pulgadas, *Split Set* de 7 pies sistematizado con malla electrosoldada.

Pasos para la recuperación del puente:

- Tener la corona de la labor uniforme con una gradiente de corte de 1 metro.



*Figura 6. Tajo 2700 con la gradiente nivelada*

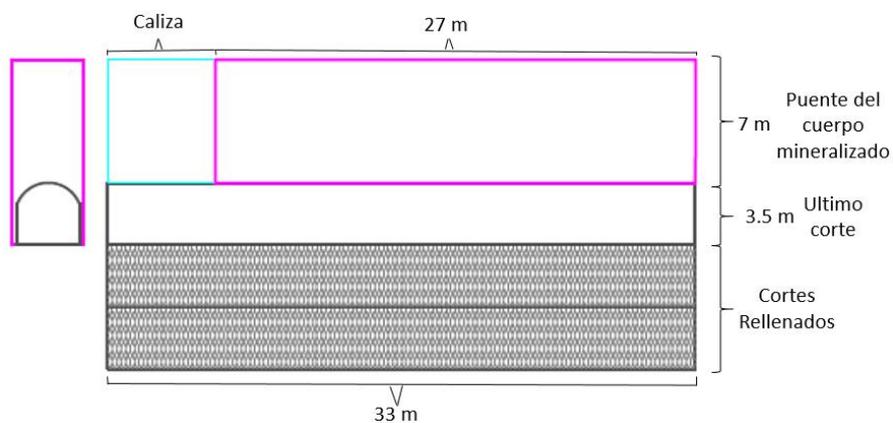
- Instalar cimbras "H" de 3.5 x 3.15 en la zona de recuperación de puente distanciados a 1.2 metros en una longitud de 33 metros.
- La instalación de cimbras se realiza sobre una plantilla de tabla para evitar subsidencia de estas.
- Las cimbras se entablan entre ellas y deben de estar con bolsacretes del lado exterior de las cimbras al tope de la periferie del tajo.
- Al terminar con la instalación de cimbras se procederá el arriostrado en su totalidad.



**Figura 7. Sostenimiento del tajo 2700 escondida**

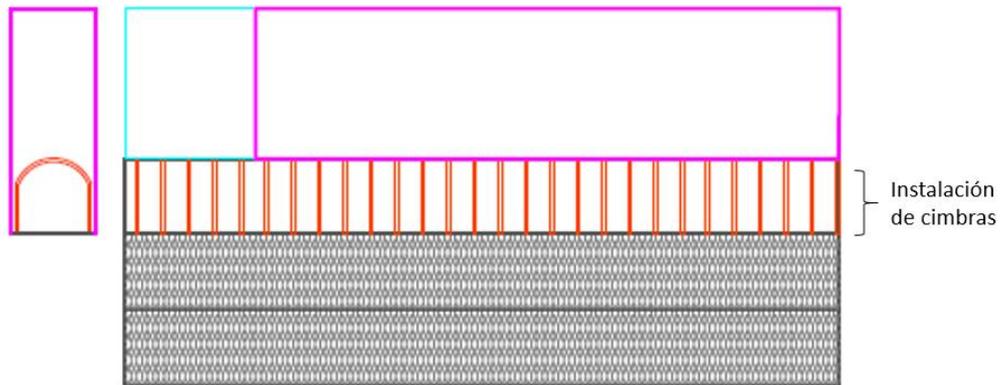
#### 4.1.5 Secuencia de recuperación del puente

El tajo 2700 “Escondida” en el nivel 920 ubicado en Zona III de la unidad Yauricocha ha sido explotado por el método de corte y relleno convencional, sobre el ultimo corte del cuerpo en su explotación se ha dejado un puente de 7 metros por recomendación del área de geología, geomecánica, seguridad, planeamiento y mina.



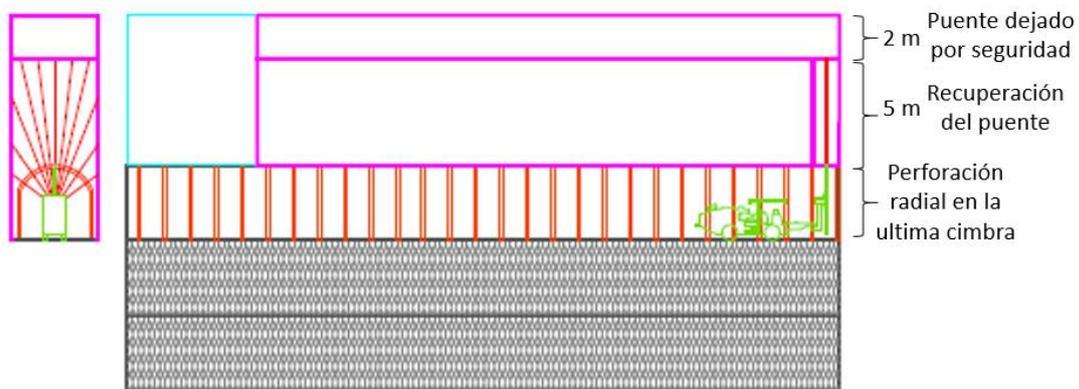
**Figura 8. Tajo 2700 explotado por corte y relleno**

Geomecánica a recomendado instalar cimbras a través en el último corte del tajo 2700, están acompañados por el entablado y arriostrado entre las cimbras.



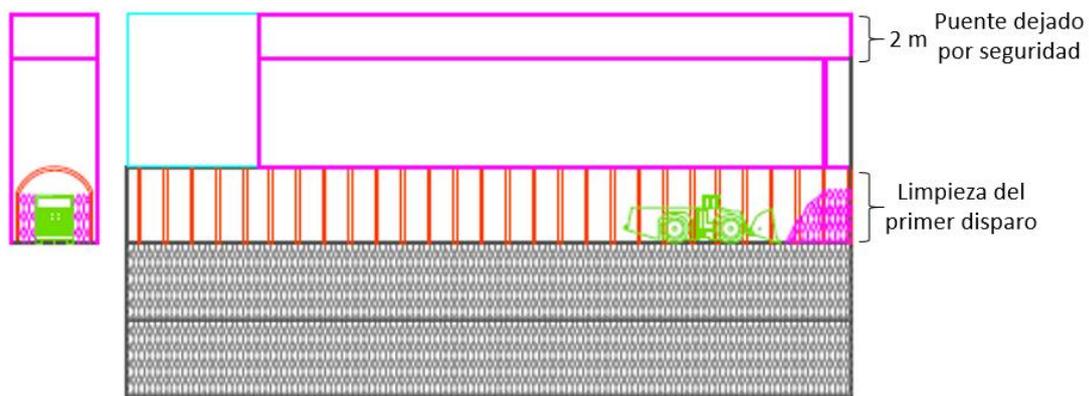
**Figura 9. Tajo 2700 con cimbras instaladas**

Para la perforación del puente ingresamos el Jumbo Muki para realizar los taladros radiales en el techo del tajo que mantienen su entablado.



**Figura 10. Tajo 2700 primera perforación para la recuperación del puente**

En la limpieza del mineral, ingresamos el Scoop eléctrico de 2.5 yd<sup>3</sup>.



**Figura 11. Tajío 2700 limpieza de la recuperación del mineral**

La perforación es en retirada hasta completar la última cimbra, el operador y el equipo trabajan bajo la armadura formada por las cimbras entabladas.



**Figura 12. Tajío 2700 ultima perforación en la recuperación del puente**

El Scoop eléctrico es el encargado de limpiar toda la carga producida por la recuperación del puente, este equipo es manejado por control remoto para cuidar la integridad del operador.



**Figura 13. Tajo 2700 limpieza del último disparo**

El puente no es recuperado en su totalidad y se deja 2 metros de puente por recomendación del área de geomecánica y aprobado por seguridad.

También el tajo es bloqueado con desmonte para evitar el ingreso a un área elevada con riesgo de caída de roca.



**Figura 14. Tajo 2700 puente recuperado**

## 4.2 Análisis de las reservas

### 4.2.1 Cálculo de las reservas a recuperar

El tajo 2700 tiene sección de minado de 3.5 x 3.5 metros, el método de minado es corte y relleno ascendente, la perforación es en breasting con Jack Leg. Al realizar el desquinche, nos encontramos con un ancho de sección de 4 metros.

La longitud del tajo es de 29 metros y la longitud del puente es de 27 metros.

El puente es uniforme de 7 metros de altura, para la recuperación tomaremos 5 metros y dejaremos 2 metros, por recomendación de geomecánica.

Cálculo de tonelaje de reservas:

Longitud del puente (Lp) = 27 m.

Potencia del puente (Pp) = 4 m.

Altura de puente (Ap) = 5 m.

Densidad de mineral (Dm) = 3.6

Tonelaje del puente =  $Lp \times Pp \times Ap \times Dm$

Tonelaje del puente = 1944 TM

El puente tiene unas reservas de 1 944 toneladas.

#### 4.2.2 Análisis de leyes de las reservas

Para obtener las leyes, se analiza el mineral muestreado y leyes ejecutadas que se obtuvieron del mineral extraído en el minado de corte y relleno.

Tabla 11. *Leyes del tajo 2700*

Nivel	Labor	Cuerpo	Piso	Reserva Estimada	Ley Mínima de Explotación				US\$/TMS
					Oz/Ag	%Pb	%Cu	%Zn	
920	TJ. 2700	Escondida	16	1944	1.98	2.96	0.11	6.31	170.72

Las leyes obtenidas, nos dan un mineral de valor económico de 170.72 dólares por tonelada.

#### 4.2.3 Valor económico de mineral recuperado

El valor económico de mineral recuperado es la cotización en el mercado expresado en \$/t.

- Valor de mineral:

Tonelaje del puente = 1944 t

Dilución = 5%

Valor de mineral = 170 \$/Tn

Valor del puente recuperado = 313956 \$

El valor económico del puente recuperado es de 313 956.00 dólares.

### **4.3 Aplicación del método *sub level caving* en la recuperación**

#### **4.3.1 Descripción del método *sub level caving* en la recuperación**

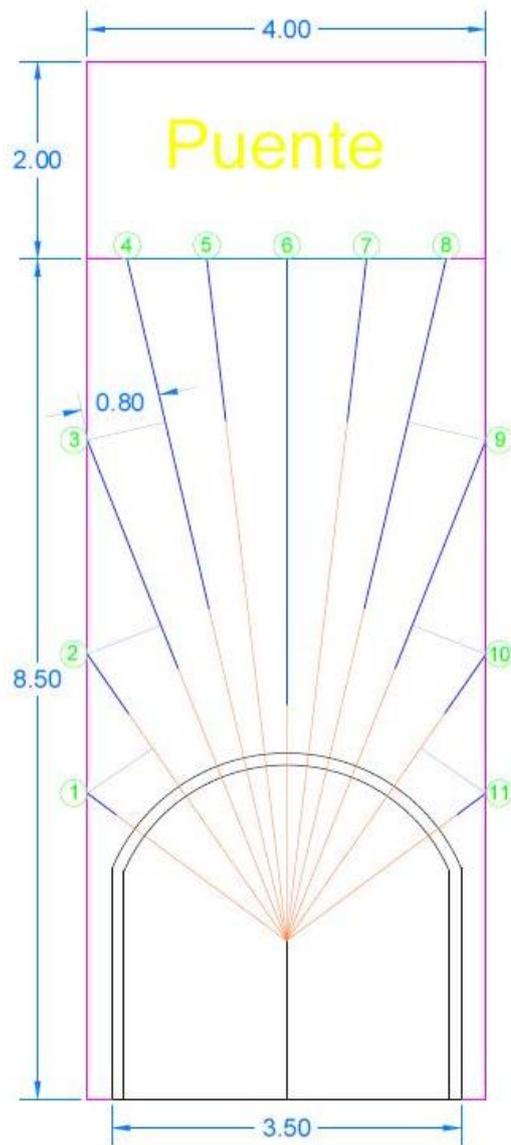
Al conocer la recomendación de Geomecánica, se tiene una gradiente de corte uniforme de 1 metro, luego se instala cimbras de 3.5x3.15 cada 1.2 metros en la longitud de tajo de 33 metros, las cimbras instaladas se usan como sostenimiento y control a la caída de roca.

Se realiza la perforación radial de 16,4 pies como longitud vertical de taladro al techo por ventanas y la explotación es en retirada.

Se extrae el mineral con Scoop eléctrico de capacidad de cuchara de 2.5 yd<sup>3</sup> hacia la zona de acumulación.

#### **4.3.2 Perforación y voladura para la recuperación**

Para la perforación utilizamos el equipo Jumbo Muki que nos permite realizar perforaciones radiales de longitud de perforación máxima de 15 metros.



**Figura 15. Diseño de malla de perforación y voladura para la recuperación del puente**

Perforación:

	Ancho de	
	Block:	4,00 m
	Altura del	
	Block:	7,00 m
Espaciamiento:	0,80 m.	
Ø Taladro:	64 mm.	Volumen roto: 540,00 m <sup>3</sup>
Long. Barra:	1,20 m.	TMS: 1944

**Tabla 12. Diseño de perforación**

Nº TALADRO	LONG. TALADRO (m.)	Nº BARRAS	ÁNGULO
1 y 11	0,59	(0,59 m.)1b	37º
2 y 10	1,62	1b+0,42 m.	55º
3 y 9	3,54	3b+0,14 m.	68º
4 y 8	5,18	4b+0,68 m.	77º
5 y 7	5,05	4b+0,55 m.	83º
6	5	4b+0,50 m.	90º

Voladura:

Nº de taladros:	11,00	Metros perforados:	
		m.	36,96
		Ton/metros	
Nº de cartuchos:	88,00	perforados:	52,60
Total explosivo kg:	15,84	Metros cargados:	22,2
Factor de potencia:			
kg/t	0,13	RMR:	45

**Tabla 13. Distribución del explosivo para la voladura**

Nº TALADRO	LONG. TALADRO (m.)	LONG. TALADRO CON CARGA	Nº CARTUCHOS/TAL EMULNOR 3000 1 1/2"X12"	TOTAL EXPLOSIVO (kg)
1 y 11	0,59	0,36	1	0,36
2 y 10	1,62	0,73	2	0,72
3 y 9	3,54	2,48	8	2,88
4 y 8	5,18	3,63	12	4,32
5 y 7	5,05	1,65	6	2,16
6	5	4,5	15	5,4

#### 4.4 Análisis económico

##### 4.4.1 Costos de la aplicación de la recuperación

##### 4.4.1.1 Costos de sostenimiento

**Tabla 14. Costos de sostenimiento**

<i>Materiales</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Unidad</i>	<i>Costo Unitario (\$)</i>	<i>Total (\$)</i>
<b>Costos de Sostenimiento</b>				
<i>Equipo/Materiales/Servicios</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Unidad</i>	<i>Costo Unitario (\$)</i>	<i>Total (\$)</i>
Cimbras viga H6 3.5 x 3.15	28	Und.	\$ 600.00	\$ 16,800.00
Tablas de 2"*6"*5'	1080	Und.	\$ 1.35	\$ 1,458.00
Distanciadores	162	Und.	\$ 2.49	\$ 403.38
Alcayatas para cimbras	26	Und.	\$ 1.59	\$ 41.34
Sacos para bolsacretes	360	Und.	\$ 0.10	\$ 36.00
Instalacion de cimbras	28	Und.	\$ 73.27	\$ 2,051.59
Entablado de cimbras	274.32	m2	\$ 8.42	\$ 2,310.79
Arriostre	54	Und.	\$ 6.73	\$ 363.22
Soldadura de Alcayata	26	Und.	\$ 2.39	\$ 62.19
Instalación de Bolsacretes	360	Und.	\$ 0.47	\$ 169.58
<b>Total</b>				<b>\$ 23,696.09</b>

#### 4.4.1.2 Costos de perforación

**Tabla 15. Costos de perforación**

<b>Perforación</b>				
<i>Equipo/Materiales/Servicios</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Unidad</i>	<i>Costo Unitario (\$)</i>	<i>Total (\$)</i>
Jumbo Muki tal lag	40.5	Hrs	\$ 26.86	\$ 1,087.83
BROCA RETRACTIL FP T38 X 2.5-(64MM)	2	Und.	\$ 81.51	\$ 163.02
BARRA SPEED T38 4' MF ROD ATLAS COPCO	7	Und.	\$ 251.11	\$ 1,757.77
SHANK ADAPTER T38 D45 515MT3802	1	Und.	\$ 536.15	\$ 536.15
Perforación de taladros	36.96	m	\$ 9.43	\$ 348.69
<b>Total</b>				<b>\$ 3,544.77</b>

#### 4.4.1.3 Costos de voladura

**Tabla 16. Costos de voladura**

<b>Voladura</b>				
<i>Equipo/Materiales/Servicios</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Unidad</i>	<i>Costo Unitario (\$)</i>	<i>Total (\$)</i>
EMULNOR 3000 1 1/2" 12"	2376	CT	\$ 0.56	\$ 1,337.69
Cordon Detonante 3P	189	m.	\$ 0.14	\$ 26.46
Carmex	54	Und.	\$ 0.50	\$ 27.00
Mecha rapida Z-18	4.05	Und.	\$ 0.31	\$ 1.26
DETONADOR FANEL PERIODO LARGO LP X 2.4 MT	108	Und.	\$ 0.72	\$ 77.76
DETONADOR FANEL PERIODO LARGO LP X 12 MT	189	Und.	\$ 1.65	\$ 311.85
Carguio	297	Tal	\$ 4.23	\$ 1,255.22
<b>Total</b>				<b>\$ 3,037.23</b>

#### 4.4.1.4 Costos de acarreo

**Tabla 17. Costos de acarreo**

<b>Acarreo</b>				
<i>Equipo/Materiales/Servicios</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Unidad</i>	<i>Costo Unitario (\$)</i>	<i>Total (\$)</i>
Scoop Electrico 2.5 YD3	18.9	Hrs	\$ 22.67	\$ 428.46
Dumper(incluye operador)	10.8	hrs	\$ 36.23	\$ 391.28
Operador Scoop Electrico	18.9	hrs	\$ 3.58	\$ 67.66
<b>Total</b>				<b>\$ 819.75</b>

#### 4.4.2 Resumen de costos

**Tabla 18. Resumen de costos**

<i>Descripción</i>	<i>Costo</i>
Sostenimiento	\$ 23,696.09
Perforación	\$ 3,037.23
Voladura	\$ 3,544.77
Acarreo	\$ 819.75
<b>Total</b>	<b>\$ 31,097.84</b>

Tonelaje	1994 t
Costo	31097.84 \$
Costo total	15.997 \$/t

En nuestro resumen de costos obtenemos que para explotar una tonelada de la recuperación del puente tenemos un costo de 15.997 dólares.

#### 4.4.3 Costo – beneficio

**Tabla 19. Costo – beneficio**

Costo - Beneficio	
Reservas	1944.00 Tn
Valor del mineral	170.00 \$/Tn
Valor del puente recuperado	330480.00 \$
Costos de la aplicación de la recuperación	31097.84 \$
Costos de la recuperación por tonelaje	16.00 \$
Ganancia	299382.16 \$
Ganancia por tonelaje	154.00 \$/Tn

#### 4.4.4 Programado – ejecutado

En la unidad de Yauricocha hay tres zonas y profundización que aportan mineral al programa de producción de la mina siendo para el mes de agosto 99 000 toneladas las programadas, donde zona II aporta sulfuro de cobre en 40.4 %, polimetálicos en 4.55 %, zona III aporta el 20.20 % con polimetálicos, zona V aporta el 30.30 % con polimetálicos y profundización aporta 4.55 %, también con polimetálicos.

##### 4.4.4.1 Programa de producción agosto

El programa de producción mensual del mes de agosto de zona III es de 20 000 toneladas

**Tabla 20. Programa de producción zona III - agosto**

ZONAS	NIVEL	PISO	CUERPO	LABOR	PROGRAMA MENSUAL	LEYES				VALOR US\$/TMS
						Ag - Oz/tn	Pb%	Cu%	Zn%	
III	820	8	ANGELITA	TJ.2852	9,000	0.30	0.19	0.46	3.15	73.44
	870	12	KARLITA	TJ.8535	4,000	1.92	0.96	0.42	4.36	117.86
	920	16	ELISSA	TJ.3700	3,000	1.12	1.34	0.43	4.14	113.08
	920	3	JOSELYN	TJ.8667	1,000	0.98	1.31	0.18	5.35	118.65
	920	1	PRIVATIZADORA	TJ.8400	3,000	1.19	1.56	0.02	4.32	104.22
<b>TOTAL POLIMETÁLICO</b>					<b>20,000</b>	<b>0.91</b>	<b>0.78</b>	<b>0.37</b>	<b>3.83</b>	<b>95.15</b>

*Tomada del área de Mina SMCSA*

#### 4.4.4.2 Ejecutado de producción agosto

**Tabla 21. Ejecutado de producción zona III - agosto**

PRODUCCIÓN DE MINERALES POLIMETÁLICOS						LEYES				VALOR
ZONAS	NIVEL	PISO	CUERPO	LABOR	PROGRAMA MENSUAL	Ag - Oz/tn	Pb%	Cu%	Zn%	US\$/TMS
III	820	8	ANGELITA	TJ.2852	9,120	0.30	0.19	0.46	3.15	73.44
	870	12	KARLITA	TJ.8535	4,321	1.92	0.96	0.42	4.36	117.86
	920	16	ELISSA	TJ.3700	3,246	1.12	1.34	0.43	4.14	113.08
	920	13	ESCONDIDA	TJ.2700	1,944	1.98	2.96	0.11	6.31	170.72
	920	3	JOSELYN	TJ.8667	587	0.98	1.31	0.18	5.35	118.65
	920	1	PRIVATIZADORA	TJ.8400	475	1.19	1.56	0.02	4.32	104.22
<b>TOTAL POLIMETÁLICO</b>					<b>19,693</b>	<b>1.00</b>	<b>0.89</b>	<b>0.39</b>	<b>3.98</b>	116.33

*Tomada del área de Mina SMCSA*

#### 4.4.4.3 Comparativo programado – ejecutado

**Tabla 22. Comparativo programado - ejecutado**

	Programado	Ejecutado	Diferencia	Variación %
Valor de mineral (\$/Tn)	95.15	116.33	21.18	122.3%
Producción (Tn)	20000	19693	307	98.5%
<b>Beneficio (\$)</b>	<b>\$1,903,000.00</b>	<b>\$ 2,290,886.69</b>	<b>\$ 387,886.69</b>	<b>120.4%</b>

Las leyes del tajo 2700 incrementan la ley promedio final en 21,18 \$/t.

La producción programada de mineral no se alcanza, faltando 307 t para completar las 20 000 toneladas programadas.

El beneficio programado es de 1,903,000.00 dólares, el beneficio ejecutado es de 2,290,886.69 dólares; por tanto, el beneficio ejecutado supera al programado en 387,886.69 dólares.

## CONCLUSIONES

1. Se determina que el programa de producción en tonelaje no es alcanzado en 307 t que significa un 1.5 % para alcanzar las 20 000 t programadas. Sin embargo, el beneficio ejecutado es de 2 290 886.69 dólares superando al programado en 387 886.69 dólares que significa un 20.4 % más que el 1 903 000.00 dólares programados; esto es consecuencia de que las leyes que tiene el tajo 2700 ha incrementado el valor de mineral por tonelada, el valor de mineral programado es de 95.15 \$/t, el valor económico ejecutado es de 116.33 \$/t teniendo una diferencia de 21.18 \$/t que significa un 22.3 % de variación.
2. Las reservas recuperadas del puente son de 1944 t, con un valor de mineral de 170.72 \$/t, influyendo positivamente en la calidad de mineral de zona III, pero no en la producción. La recuperación del puente por *sub level caving* tiene un costo de 16 \$/t y tenemos una ganancia de 154 \$/t que se traduce en 299 382.16 dólares.
3. Geomecánica recomienda que se deje un puente mínimo de 2 metros para la recuperación del puente del tajo 2700 bajo factor de seguridad aceptable 1.34. En la recuperación se debe de instalar cimbras correctamente a lo largo del tajo que es de 33 metros, espaciadas a 1.2 metros debidamente arriostrados. Las cimbras deben de estar entabladas y con bolsacretes.
4. El método de *sub level caving* nos brinda la técnica para recuperar el puente según lo recomendado por geomecánica reduciendo los riesgos para poder ingresar personal, equipos y materiales.

## RECOMEDACIONES

1. Se debe de cumplir la recomendación de Geomecánica, conjuntamente de un seguimiento y control del tajo donde se realice la recuperación. También tener un seguimiento sinérgico de todas las áreas de la mina.
2. Es importante cumplir con los plazos de las actividades programadas en el tajo para la recuperación del puente, para así evitar extender el tiempo y se pueda tener algún colapso del tajo.
3. Las guardias deben de realizar un reporte e informar oportunamente las observaciones que se tienen en la recuperación del puente.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. CHUCUYA, Alan. Recuperación de puentes de mineral para incremento de la producción y ley de cabeza en Compañía Minera Kolpa S.A. Tesis (Título de Ingeniero de Minas). Puno : Universidad Nacional Del Altiplano, 2018.
2. CUTTI, Grover. Recuperación de puentes de mineral mediante taladros largos en los tajeos de explotación en la mina Huanzala - CIA. Minera Santa Luisa S.A. Tesis (Título de Ingeniero de Minas). Ayacucho: Universidad Nacional de San Cristobal de Huamanga, 2013.
3. RAMOS, Rosel. Recuperación de pilar de tajo antiguo de nivel 400 intermedio de la sección I empleando el método de subniveles con taladros largos en la empresa minera Los Quenuales S.A. - U.M. Yauliyacu. T Tesis (Título de Ingeniero de Minas). Huancayo: Universidad Continental, 2020.
4. BEDOYA, Vladimir. *Geología local y regional*. Yauricocha [e línea] 2017 [Fecha de consulta: 17 de noviembre del 2022] Recuperado de: <https://es.scribd.com/document/527907111/A-4-1-Geologia-Yauricocha-Local-y-Regional-2017#>.
5. S.A.C., GEOSERVICE INGENIERIA. *Diseño de los depositos de residuos domesticos, peligrosos,relleno sanitario y área de compostaje*. Yauricocha : s.n., 2017.
6. DEPARTAMENTO DE GEOMECANICA, SOCIEDAD MINERA CORONA S.A. *Evaluación Geomecánica Mina Yauricocha*. Yauricocha , 2012.
7. DS 024-2016-EM modificado por D.S. N° 023-2017-EM. *Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería*.Diario Oficial El Peruano, 18 de agosto de 2017.

8. FAMESA, Famesa Explosivos S.A.C. *Catalogo de Explosivos Famesa*. [en línea] Lima, 2019. [Fecha de consulta: 22 de noviembre del 2022] Recuperado de: <http://www.famesa.com.pe/>
9. UNIVERSIDAD ARTURO PRAT. Museo Minerológico. *¿Qué es un Mineral?* [En línea] Chile [Fecha de consulta: 28 de noviembre del 2022] Recuperado de: [https://www.unap.cl/prontus\\_unap/site/artic/20141029/pags/20141029155908.html#:~:text=Un%20mineral%20es%20una%20sustancia,con%20otros%20tipos%20de%20roca. .](https://www.unap.cl/prontus_unap/site/artic/20141029/pags/20141029155908.html#:~:text=Un%20mineral%20es%20una%20sustancia,con%20otros%20tipos%20de%20roca.)
10. SILVESTRE, Franco. Aplicación del método de explotación por subniveles en la Unidad Minera Chungar-Compañía Minera Volcan. Tesis (Título de Ingeniero de Minas). Universidad Continental, 2018, 134 pp.
11. COLONIO, Elvis. Optimización de la producción mediante la aplicación del método de explotación tajeo por subniveles taladros largos en la U.E.A. Recuperada de la Compañía de Minas Buenaventura S.A.A. Tesis (Título de Ingeniero de Minas). Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Perú, 2015.

## **ANEXOS**

## Anexo 1

### Matriz de Consistencia

TÍTULO: Implementación de la recuperación de puentes aplicando el método sub level caving en la unidad de producción Yauricocha Sociedad Minera Corona S. A.

TÍTULO	FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES $y = f(x)$	DIMENSIONES	INDICADORES
IMPLEMENTACIÓN DE LA RECUPERACIÓN DE PUENTES APLICANDO EL MÉTODO SUB LEVEL CAVING EN LA UNIDAD DE PRODUCCIÓN YAURICOCHA SOCIEDAD MINERA CORONA S.A.	<b>PROBLEMA GENERAL</b> ¿De qué manera influye la implementación de la recuperación de puentes aplicando el método Sub Level Caving en el programa de producción de la Unidad de Producción Yauricocha Sociedad Minera Corona S.A.?	<b>OBJETIVO GENERAL:</b> Identificar el impacto en la producción que genera la implementación de la recuperación de puentes aplicando el método Sub Level Caving en la Unidad de Producción Yauricocha Sociedad Minera Corona S.A..	<b>HIPOTESIS PRINCIPAL:</b>  Hi: La implementación de la recuperación de puentes por Sub Level Caving en el método de explotación de Corte y Relleno Ascendente influirá en el alcance del programa de producción de la Unidad de Producción Yauricocha Sociedad Minera Corona S.A..  H0: La implementación de la recuperación de puentes por Sub Level Caving en el método de explotación de Corte y Relleno Ascendente no influirá en el alcance del programa de producción de la Unidad de Producción Yauricocha Sociedad Minera Corona S.A..	<b>VARIABLE DEPENDIENTE (y):</b>  ALCANCE DE LA PRODUCCIÓN PROGRAMADA	Programa de producción mensual Programa de Leyes	Tonelaje ejecutado Leyes ejecutado
		<b>PROBLEMAS ESPECÍFICOS:</b>	<b>OBJETIVOS ESPECÍFICOS:</b>	<b>HIPOTESIS ESPECÍFICAS:</b>	<b>VARIABLE INDEPENDIENTE(x):</b>	
	a) ¿De qué manera influye las reservas del puente dejado en el tajo 2700 en la producción de la Unidad de Producción Yauricocha 2019?	Determinar las reservas del puente dejado en el tajo 2700, para obtener la producción a recuperar de este tajo en la Unidad de Producción Yauricocha Sociedad Minera Corona S.A..	La recuperación de reservas del tajo 2700 influirá positivamente para el alcance del programa de producción de la Unidad de Producción Yauricocha Sociedad Minera Corona S.A..	RECUPERACIÓN DEL PUENTE	Definición del puente	Reservas del puente
	b) ¿Cuál es la recomendación geomecánica en la recomendación del tajo 2700 de la Unidad de Producción Yauricocha Sociedad Minera Corona.	Determinar la recomendación geomecánica, para recuperar el puente del tajo 2700 de la Unidad de Producción Yauricocha Sociedad Minera Corona S.A..	La evaluación geomecánica nos permitirá recuperar más del 50% de reservas del puente dejado en el tajo 2700 de la Unidad de Producción Yauricocha Sociedad Minera Corona S.A..		Evaluación Geomecánica Geomecánica	Propiedades de los materiales Desplazamientos Factor de seguridad

## Anexo 2

### Cronograma de actividades para la recuperación del tajo 2700

CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES PARA LA RECUPERACIÓN DEL PUENTE DEL TAJO 2700													
LUNES		MARTES		MIÉRCOLES		JUEVES		VIERNES		SÁBADO		DOMINGO	
15/07/2019		16/07/2019		17/07/2019		18/07/2019		19/07/2019		20/07/2019		21/07/2019	
DÍA	NOCHE	DÍA	NOCHE	DÍA	NOCHE	DÍA	NOCHE	DÍA	NOCHE	DÍA	NOCHE	DÍA	NOCHE
ESTANDARIZACIÓN DEL TAJO	INSTALACIÓN DE CIMBRA	INSTALACIÓN DE CIMBRA	INSTALACIÓN DE CIMBRA	INSTALACIÓN DE CIMBRA	INSTALACIÓN DE CIMBRA	INSTALACIÓN DE CIMBRA							
22/07/2019		23/07/2019		24/07/2019		25/07/2019		26/07/2019		27/07/2019		28/07/2019	
DÍA	NOCHE	DÍA	NOCHE	DÍA	NOCHE	DÍA	NOCHE	DÍA	NOCHE	DÍA	NOCHE	DÍA	NOCHE
INSTALACIÓN DE CIMBRA	INSTALACIÓN DE CIMBRA	INSTALACIÓN DE CIMBRA	INSTALACIÓN DE CIMBRA	INSTALACIÓN DE CIMBRA	INSTALACIÓN DE CIMBRA	INSTALACIÓN DE CIMBRA	INSTALACIÓN DE CIMBRA	INSTALACIÓN DE CIMBRA	INSTALACIÓN DE CIMBRA	INSTALACIÓN DE CIMBRA	INSTALACIÓN DE CIMBRA	INSTALACIÓN DE CIMBRA	INSTALACIÓN DE CIMBRA
29/07/2019		30/07/2019		31/07/2019		1/08/2019		2/08/2019		3/08/2019		4/08/2019	
DÍA	NOCHE	DÍA	NOCHE	DÍA	NOCHE	DÍA	NOCHE	DÍA	NOCHE	DÍA	NOCHE	DÍA	NOCHE
INSTALACIÓN DE CIMBRA	INSTALACIÓN DE CIMBRA	INSTALACIÓN DE CIMBRA	INSTALACIÓN DE CIMBRA	PERFORACIÓN Y VOLADURA	LIMPIEZA DE CARGA	PERFORACIÓN Y VOLADURA	LIMPIEZA DE CARGA	PERFORACIÓN Y VOLADURA	LIMPIEZA DE CARGA	PERFORACIÓN Y VOLADURA	LIMPIEZA DE CARGA	PERFORACIÓN Y VOLADURA	LIMPIEZA DE CARGA
5/08/2019		6/08/2019		7/08/2019		8/08/2019		9/08/2019		10/08/2019		11/08/2019	
DÍA	NOCHE	DÍA	NOCHE	DÍA	NOCHE	DÍA	NOCHE	DÍA	NOCHE	DÍA	NOCHE	DÍA	NOCHE
PERFORACIÓN Y VOLADURA	LIMPIEZA DE CARGA	PERFORACIÓN Y VOLADURA	LIMPIEZA DE CARGA	PERFORACIÓN Y VOLADURA	LIMPIEZA DE CARGA	PERFORACIÓN Y VOLADURA	LIMPIEZA DE CARGA	PERFORACIÓN Y VOLADURA	LIMPIEZA DE CARGA	PERFORACIÓN Y VOLADURA	LIMPIEZA DE CARGA		
12/08/2019		13/08/2019		14/08/2019		15/08/2019		16/08/2019		17/08/2019		18/08/2019	
DÍA	NOCHE	DÍA	NOCHE	DÍA	NOCHE	DÍA	NOCHE	DÍA	NOCHE	DÍA	NOCHE	DÍA	NOCHE
PERFORACIÓN Y VOLADURA	LIMPIEZA DE CARGA	PERFORACIÓN Y VOLADURA	LIMPIEZA DE CARGA	PERFORACIÓN Y VOLADURA	LIMPIEZA DE CARGA	PERFORACIÓN Y VOLADURA	LIMPIEZA DE CARGA	PERFORACIÓN Y VOLADURA	LIMPIEZA DE CARGA	PERFORACIÓN Y VOLADURA	LIMPIEZA DE CARGA		
19/08/2019		20/08/2019		21/08/2019		22/08/2019		23/08/2019		24/08/2019		25/08/2019	
DÍA	NOCHE	DÍA	NOCHE	DÍA	NOCHE	DÍA	NOCHE	DÍA	NOCHE	DÍA	NOCHE	DÍA	NOCHE
PERFORACIÓN Y VOLADURA	LIMPIEZA DE CARGA	PERFORACIÓN Y VOLADURA	LIMPIEZA DE CARGA	PERFORACIÓN Y VOLADURA	LIMPIEZA DE CARGA	PERFORACIÓN Y VOLADURA	LIMPIEZA DE CARGA	PERFORACIÓN Y VOLADURA	LIMPIEZA DE CARGA	PERFORACIÓN Y VOLADURA	LIMPIEZA DE CARGA		PERFORACIÓN Y VOLADURA
26/08/2019		27/08/2019		28/08/2019		29/08/2019		30/08/2019					
DÍA	NOCHE	DÍA	NOCHE	DÍA	NOCHE	DÍA	NOCHE	DÍA	NOCHE				
LIMPIEZA DE CARGA	PERFORACIÓN Y VOLADURA	LIMPIEZA DE CARGA	PERFORACIÓN Y VOLADURA	LIMPIEZA DE CARGA	PERFORACIÓN Y VOLADURA	LIMPIEZA DE CARGA	PERFORACIÓN Y VOLADURA	LIMPIEZA DE CARGA	BLOQUEO DE TAJO				

## Anexo 3

### Ensayos de laboratorio en la Universidad Nacional de Ingeniería



#### UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

#### Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica

#### Laboratorio de Mecánica de Rocas

Informe: N° 279/18/LMR/UNI  
 Empresa: SOCIEDAD MINERA CORONA S.A.  
 Proyecto: "ENSAYOS DE PROPIEDADES MECANICAS DE ROCAS PARA LA UNIDAD MINERA YAURICOCHA"  
 Fecha: 23/07/2018

#### ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL

Los ensayos se realizaron según la norma ASTM 2664-95, dando los siguientes resultados:

Taladro	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Confin. $\sigma_3$ (MPa)	Esfuerzo rotura $\sigma_1$ (MPa)	Constante "m"	Cohesión "c" (MPa)	Ang. de Fricción Interno " $\phi$ " (°)
M-1 III	5.35	11.06	2	160.20	27.73	20.51	56.84
	5.35	11.09	4	183.80			
	5.35	11.15	6	205.40			
M-2 II	5.34	11.14	2	75.70	7.78	16.40	38.11
	5.34	11.22	4	84.70			
	5.34	11.15	6	92.60			
M-2 III	5.35	11.06	2	56.20	11.01	10.46	41.48
	5.35	11.19	4	66.40			
	5.35	11.12	6	75.90			
M-1 V	4.38	8.93	2	41.4	16.91	6.51	43.99
	4.38	8.88	4	53.70			
	4.39	8.85	6	63.60			
M-6 V	4.39	8.98	2	180.30	26.94	23.40	56.96
	4.40	8.91	4	204.00			
	4.40	8.98	6	225.80			
M-1 II	5.33	10.91	2	40.80	19.95	6.06	46.07
	5.33	10.96	4	53.20			
	5.33	10.99	6	64.20			

#### ENSAYO DE CONSTANTES ELASTICAS

Los ensayos se realizaron según la norma ASTM D7012-04, dando los siguientes resultados:

Muestra	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Módulo de Young "E" (GPa)	Relación de Poisson "v"
M-1-II	5.36	10.98	2.86	0.36
M-2-II	5.35	11.15	9.44	0.30
M-1-III	4.39	8.88	13.89	0.27
M-6-V	5.36	11.05	12.64	0.28
M-1-V	5.36	11.14	2.06	0.36
M-2-III	5.36	11.16	7.85	0.33



Av. Túpac Amaru N° 210, Lima 25, Perú  
 Teléfono: 382-4557 / Central Telefónica: 481-1070 Anexos: 4221, 4219 y 4244  
 Email: [lmrocas@uni.edu.pe](mailto:lmrocas@uni.edu.pe), [evalencia@uni.edu.pe](mailto:evalencia@uni.edu.pe), [achavez@uni.edu.pe](mailto:achavez@uni.edu.pe)

Página 4 de 24

Tomada del departamento de Geomecánica SMCSA



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica  
Laboratorio de Mecánica de Rocas

## ENSAYO DE CONSTANTES ELÁSTICAS – CE

LITOLOGÍA	CÓDIGO DE MUESTRA	DIÁ. "d" (mm)	ALT. "h" (mm)	MÓDULO DE YOUNG "E" (GPa) (*) (Transductores)	MÓDULO DE YOUNG "E" (GPa) (**) (Strain Gauges)	RELACIÓN DE POISSON "ν" (Strain Gauges)
IN	CO-01 MV-03	60.8	146.1	16.78	19.05	0.15
IN	CO-01 MV-10	61.0	146.2	11.53	17.24	0.12
IN	CO-04 MV-01	60.9	145.7	16.38	20.55	0.17
CZ	CO-02 MV-07	60.9	145.6	9.16	11.42	0.12
CZ	CO-02 MV-09	60.7	145.3	23.65	33.80	0.11
IN	CO-03 MV-01	60.9	145.5	11.18	19.95	0.09
IN	CO-03 MV-23	61.1	146.0	12.47	10.84	0.07
IN	CO-03 MV-24	61.0	145.2	9.46	13.99	0.10

R.E.: Relación de Esbeltez =  $h/d = 2.0$

Valor de "E" = Módulo de Young Tangencial.

(\*) Valor del Módulo de Young "E", obtenida con los Transductores LDT al momento del ensayo CE (UCS<sub>0</sub>). Los transductores muestran la deformación Total del testigo de roca. Valores opcionales para el cliente.

(\*\*) Otros valores de "E" secante y "E" Promedio, pueden ser evaluados por el cliente para su aplicación, estos valores se pueden obtener de los Gráficos de los Módulos Elásticos "E" y "ν". (Ver 6.2 GRÁFICOS DE ENSAYO DE CONSTANTES ELÁSTICAS – CE, Pág. 50).

Este(s) valor(es) "E" tangente, ha(n) sido calculado(s) al 50% de tu Resistencia máxima UCS<sub>0</sub>



Av. Túpac Amaru N° 210, Lima 25, Perú  
Teléfono: 382-4557 / Central Telefónica: 481-1070 Anexos: 4221, 4219 y 4244  
Email: [lmrocas@uni.edu.pe](mailto:lmrocas@uni.edu.pe) , [evalencia@uni.edu.pe](mailto:evalencia@uni.edu.pe) , [achavez@uni.edu.pe](mailto:achavez@uni.edu.pe)

Tomada del departamento de Geomecánica SMCSA



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica

Laboratorio de Mecánica de Rocas

## ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN TRIAXIAL - TX

LITOLOGÍA	CÓDIGO DE MUESTRA	DÍA. "d" (mm)	ALT. "h" (mm)	CONF. e3 (MPa)	ESFUERZO COMP. (MPa)	HOEK BROWN		MOHR COULOMB	
						RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN UNIAxIAL - UCS(t) (MPa)	CONSTANTE "m"	COHESIÓN (MPa) (*)	ANGULO DE FRICCIÓN INTERNO (*) (*)
IN	CO-01-MV-03	60.7	123.2	2.0	179.63	154.29	24.08	25.09	55.02
		60.7	120.7	4.0	199.15				
		60.7	124.2	8.0	239.94				
IN	CO-01-MV-05-07	60.7	123.1	2.0	24.39	10.10	23.04	4.48	38.12
		60.7	121.5	4.0	39.06				
		60.7	123.6	8.0	50.99				
IN	CO-01-MV-10	61.8	122.8	2.0	152.19	128.59	22.52	21.92	53.64
		61.8	123.6	4.0	170.40				
		61.8	125.1	8.0	207.77				
IN	CO-04-MV-02	60.8	121.8	2.0	159.24	137.87	20.75	23.89	52.84
		60.8	123.8	4.0	178.53				
		60.8	126.8	8.0	212.67				
IN	CO-04-MV-05	60.9	124.5	2.0	158.24	137.18	24.13	22.97	54.41
		60.9	125.3	4.0	188.53				
		60.9	124.1	8.0	218.67				
CZ	D-CUY-19-20-1R-MV-02-03	63.3	128.3	2.0	58.55	50.77	7.34	13.51	35.48
		63.3	129.7	4.0	69.62				
		63.3	128.6	8.0	81.86				
IN	D-CUY-19-19-02A-MV-02	47.4	94.6	2.0	114.70	107.06	7.59	26.31	38.12
		47.4	96.7	4.0	127.98				
		47.4	97.5	8.0	141.02				
CZ	D-ANTS-14-18-10-MV-02	47.4	95.4	2.0	100.84	94.16	6.48	24.52	35.45
		47.4	95.5	4.0	112.84				
		47.4	96.0	8.0	124.31				
CZ	D-ESP-17-17-09A-MV-03	47.4	95.2	2.0	74.37	-	-	-	-
		47.4	95.6	4.0	69.97				
		47.4	95.5	8.0	98.14				
IN	E-CSM-19-21-10-MV-02-04	47.3	95.1	2.0	128.54	-	-	-	-
		47.3	95.4	4.0	73.55				
		47.3	94.7	8.0	212.02				
CZ	E-CSM-19-21-10-MV-05	47.2	94.8	2.0	60.38	48.49	13.05	11.49	42.66
		47.2	94.9	4.0	76.95				
		47.2	95.0	8.0	92.84				
SK	E-CSM-19-21-10-MV-08	47.6	95.4	2.0	101.07	82.41	19.48	15.91	50.09
		47.6	95.8	4.0	120.57				
		47.6	95.7	8.0	147.46				

Av. Túpac Amaru N° 210, Lima 25, Perú  
 Teléfono: 382-4357 / Central Telefónica: 481-1070 Anexos: 4221, 4219 y 4244  
 Email: [lmrocas@uni.edu.pe](mailto:lmrocas@uni.edu.pe), [evalencia@uni.edu.pe](mailto:evalencia@uni.edu.pe), [achavez@uni.edu.pe](mailto:achavez@uni.edu.pe)



Tomada del departamento de Geomecánica SMCSA