

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



**CAMBIO DE MÉTODO DE MINADO A CORTE Y RELLENO  
ASCENDENTE CONVENCIONAL DE LA VETA FARALLÓN EN MINA  
SMRL LAS BRAVAS N°2 DE ICA**

**TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL**

**PRESENTADO POR:**

**YHONY WILSON INCACUTIPA MAMANI**

**PARA OPTAR EL GRADO ACADEMICO DE:**

**INGENIERO DE MINAS**

**PUNO - PERU**

**2019**



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

**CAMBIO DE MÉTODO DE MINADO A CORTE Y RELLENO  
ASCENDENTE CONVENCIONAL DE LA VETA FARALLÓN EN MINA  
SMRL LAS BRAVAS N°2 DE ICA**

**TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL PRESENTADO POR:  
YHONY WILSON INCACUTIPA MAMANI  
PARA OPTAR EL GRADO ACADEMICO DE:  
INGENIERO DE MINAS**

**APROBADO POR:**

**PRESIDENTE**

:   
\_\_\_\_\_

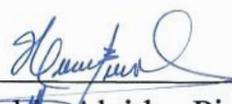
**Dr. Fernando Benigno Salas Urviola**

**PRIMER MIEMBRO**

:   
\_\_\_\_\_

**Ing. Amílcar Giovanni Teran Dianderas**

**SEGUNDO MIEMBRO**

:   
\_\_\_\_\_

**Ing. Haroldo Alcides Pino Valencia**

**TEMA: Métodos de explotación subterránea**

**AREA: Ingeniería de Minas**

**FECHA DE SUSTENTACION: 14 de noviembre del 2019**

**TRABAJO DE INVESTIGACION MODALIDAD ARTICULO CIENTIFICO****INDICE GENERAL**

INDICE GENERAL.....	i
INDICE DE FIGURAS.....	ii
INDICE DE TABLAS.....	iii
Cambio de metodo de minado a corte y relleno ascendente convencional de la veta Farallon en mina smrl las Bravas n° 2 de Ica.....	1
Yhony Wilson, Incacutipa-Mamani.....	1
Universidad Nacional del Altiplano, Facultad de Ingeniería de Minas, Puno, Perú.....	1
Resumen.....	1
Palabras clave.....	1
1. Introducción.....	3
2. Materiales y Métodos.....	7
3. Resultados y Discusión.....	16
4. Conclusiones.....	20
5. Agradecimientos.....	21
6. Literatura citada.....	22

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Parámetros son considerados en la metodología .....	11
Figura 2. Diferencia de costos de preparacion .....	18
Figura 3. Resumen de ciclo de minado .....	19

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Geometría del yacimiento Farallón .....	9
Tabla 2. Características geomecánicas del mineral Farallón .....	9
Tabla 3. Geomecánica de las de la caja techo y piso .....	10
Tabla 4. Clasificación en función a su orientación y distribución de leyes .....	12
Tabla 5. Forma y potencia de la veta Farallón .....	12
Tabla 6. Competencia de la roca intacta del mineral .....	13
Tabla 7. Espaciamiento de fracturas y Resistencia Estructuras .....	13
Tabla 8. Características geomecánicas de la caja techo .....	14
Tabla 9. Condiciones geotécnicas de la caja piso .....	14
Tabla 10. Resultados de ambos métodos .....	15
Tabla 11. Resumen de costos de preparación para corte y relleno .....	17
Tabla 12. Resumen de costos de preparación shirinkage .....	17
Tabla 13. Indicadores de los métodos .....	19
Tabla 14. Resumen de costos del ciclo de minado .....	19

## **Cambio de método de minado a corte y relleno ascendente convencional de la veta Farallón en mina SMRL Las Bravas N°2 de Ica**

### **Change of method of mining to cut and fill conventional upward of the Farallón vein in SMRL Las Bravas mine N° 2 of Ica**

Yhony Wilson, Incacutipa-Mamani

*Universidad Nacional del Altiplano, Facultad de Ingeniería de Minas, Puno, Perú.*

[yhonywim110820@gmail.com](mailto:yhonywim110820@gmail.com), 973888451.

#### **Resumen**

En el presente trabajo se realiza un análisis para determinar el método de explotación más adecuado y factible para la veta Farallón, el cual ha sido preparado anteriormente para su explotación con el método de almacenamiento provisional (shirinkage).

Se ha evaluado y realizado un proceso de selección del método de explotación considerando los criterios técnicos y económicos, haciendo un análisis y valoración de las condiciones naturales del yacimiento y el estudio geomecánico de la estructura mineralizada, además de evaluar las características del macizo rocoso y el monto del capital de inversión requerido.

Tomando en cuenta la geometría tabular del yacimiento, el comportamiento tipo rosario en vetas de 0,50 a 8,00 m, con distribución irregular y discontinua en cuanto a leyes, teniendo las rocas encajonantes de tipo III-B, mineral con alteración argílica, y después de realizar una selección numérica de método de explotación según Nicholas (1981), se ha optado por el método de corte y relleno ascendente a implementar en abril del 2019, el cual no requiere mucha preparación sobre las labores ya desarrolladas anteriormente para el método antes mencionado.

Basándonos en la información de campo podemos identificar errores debido a la mala práctica o simplemente a un mal diseño del método de explotación. Al implementar el método corte y relleno ascendente, se asegura la sostenibilidad económica del proyecto y se garantiza una producción de manera constante y segura para alcanzar la producción proyectada de 4500 t/m para el 2020 en SMRL Las Bravas N° 2 de Ica.

Palabras clave: almacenamiento provisional, método de explotación, geomecánica.

**Abstrack**

In the present work an analysis is carried out and the most appropriate and feasible method of exploitation for the Farallón vein is determined, which has been previously prepared for exploitation with the provisional storage method (shirinkage).

A process for selecting the exploitation method has been evaluated and carried out considering the technical and economic criteria, doing an analysis and evaluation of the natural conditions of the deposit and the geomechanical study of the mineralized structure, in addition to assessing the characteristics of the rock mass and the amount of investment capital required.

Taking into account the tabular geometry of the rosary-like behavior in veins from 0.50 to 8.00 m, with irregular and discontinuous distribution in terms of laws, having the type III-B encasing rocks, ore with argillic alteration, and after making a numerical selection of exploitation method according to Nicholas (1981), the cut and fill method to be implemented in april 2019 has been chosen, which does not require much work preparation already developed previously for the method mentioned above.

Based on the field information we can identify errors due to bad practice or simply to a bad design of the exploitation method, By implementing the cut and fill-up method, the economic sustainability of the project is ensured and production is guaranteed in a constant and safe way to reach the projected production of 4500 t/m by 2020 in SMIL Las Bravas N ° 2 of Ica.

Keyword: shirinkage, exploitation method, geomechanic.

## 1. Introducción

La demanda internacional de productos primarios es cada vez más pujante, impulsando el auge en el precio internacional de los metales, entonces surge la necesidad de elaborar un proyecto de implementación y aplicación de un método de minado que permita alcanzar las producciones trazadas para el año 2020, mejorando para ello la productividad en la veta Farallón, en mina SMRL Las Bravas N° 2 de Ica actualmente produce 3000 toneladas mensuales de su veta principal denominada Cambio, cuenta con una planta de 6000 toneladas de capacidad instalada, razón por la cual se ha tomado la decisión de retomar las operaciones en la veta de Farallón que inicialmente fue preparada para explotar por el método de almacenamiento provisional (shrinkage), por lo tanto resulta necesario buscar otro método de explotación que se adapte a las nuevas condiciones estructurales del yacimiento y que permita alcanzar la producción trazada inicial de 1500 toneladas, mejorando productividad y eficiencia en el ciclo de minado. Con el objetivo de incrementar la producción total a 4 500 t/m.

### Antecedentes

Cuadros-Aquino (2015) en su tesis “Evaluación geomecánica para el cambio de método de open stoping a corte y relleno ascendente convencional en la veta Atahualpa-Lola de la mina Poderosa” menciona que la aplicación de un determinado método de explotación subterránea de un yacimiento está condicionada a las características geomecánicas del macizo rocoso en la que este se emplaza, rendimiento del método, la recuperación del mineral, selectividad, bajos costos y seguridad en las operaciones.

Joaquín-Ticona (2015) en su trabajo de investigación denominado “Cambio de método de explotación de shrinkage por corte y relleno ascendente en Apmnac Pulpera” ha demostrado la posibilidad de implementar el método de explotación corte y relleno ascendente en Apmnac Pulpera, por el cambio repentino del tipo de roca. El método Corte y relleno ascendente en su aplicación es más seguro, y conlleva menor riesgo de accidentes, usando relleno detrítico, con buena recuperación de mineral, tomando las condiciones del yacimiento se basa en las clasificaciones geomecánicas de la roca (RQD, RMR).

Ricaldi-Sanchez (2018) en su tesis “Planeamiento de minado en veta filoneana con buzamiento promedio a 45° en la mina smrl las Bravas n° 2 de Ica” señala que actualmente en la minería, se requiere una explotación de manera permanente y continua, es por ello que en planeamiento de las

operaciones mineras el aire se ha convertido en un factor clave para que los colaboradores cumplan con la producción en los tiempos estimados y bajo los estándares requeridos, siendo administrado a todos los frentes de trabajo en la cantidad y calidad necesarias el requerimiento de aire.

Calixto-Sotelo (2015) en su tesis “Control de dilución optimizando los procesos unitarios de perforación, voladura y acarreo: Caso práctico; una mina subterránea del norte” señala que en una de la mina del norte el método de explotación es de corte y relleno ascendente cuya sección de minado es el de 4x4m, el cual es ideal para equipos de acarreo de 6 yd<sup>3</sup> que cuenta la mina. La producción planeada de 1500 t/día se cumple, sin embargo con leyes de cabeza muy por debajo de lo estipulado según los reportes de la planta concentradora

Laura-Lazo (2015) en su investigación denominado “Implementación del método corte y relleno ascendente semimecanizado para mejorar la productividad en Mina Julcani, Compañía de Minas Buenaventura S.A.A.” en dicha investigación contempla dos aspectos, primero implementar el método de explotación adecuado, para luego maximizar la productividad. Uno de los parámetro que determina cuan competitiva es una organización es la productividad, en el cual la planificación juega un papel preponderante en la Empresa y sumado a ello el control de las operaciones mineras para alcanzar las metas trazadas. Es importante hacer análisis y evaluación constante de los procesos por ser dinámicos y cambiantes con la finalidad del mejoramiento continuo.

Huaman-Carpio (2018) en su trabajo de investigación “Proyecto de explotación por corte y relleno ascendente - unidad minera Paraíso Azuay - Ecuador” señala que un estudio similar se realizó en compañía minera Paraíso dedicada a la explotación de minerales metálicos (oro), donde se aplica el método de explotación que se emplea para la explotación el corte - relleno ascendente, circando la veta, este método garantiza una adecuada recuperación, estabilidad y selectividad del mineral. Para vetas angostas e irregulares se utiliza el procedimiento del circado que se caracteriza por muy selectiva y consiste en disparar primero solo el mineral y luego las rocas encajonantes para utilizarla posteriormente como relleno.

Lopez-Arancibia (2012) en su trabajo de investigación “Optimización del método de explotación corte y relleno ascendente para incrementar la producción en la compañía minera Cobre Nazca unidad Santa – Ana” indica que para la optimización del método de explotación y un incremento de la producción para hacer del yacimiento minero rentable, es necesario optimizar el método de explotación aplicando el apoyo de nuevas tecnologías, estándares óptimos de trabajo que nos permita contar con un diseño optimo y plan de minado trayendo consigo mayores ingresos

en la actualidad. La optimización del método de explotación corte y relleno ascendente, exige un mayor rendimiento en las operaciones unitarias de explotación (tajeos) de esa manera incrementar la producción y así obtener una mayor utilidad.

Cabello-Corman (2008) en su tesis denominado "Selección del método de explotación para la veta Piedad en la Mina Catalina Huanca, Ayacucho" señala que con la finalidad de seleccionar el método óptimo para la explotación de la veta Piedad, se evalúan económicamente los métodos seleccionados técnicamente tomando para ello consideración en la dilución porcentual en la ley del mineral, el ancho de minado y el diseño de los métodos, con esta información se determina las reservas minables y el valor del mineral que en suma son la base de la evaluación económica en la selección del método óptimo para explotar la veta Piedad.

Rincon-Urfano (2013) en su trabajo de investigación "Estudio para determinar e implementar el método de explotación en la mina Tastatasta" concluye que la determinación de las características geomecánicas del macizo rocoso  $RQD = 49\%$ , lo cual significa que el índice de calidad de la roca es mala, y se clasifica como roca incompetente, que requiere sostenimiento, y en algunos casos pernos. Según las valoraciones efectuadas el  $RMR = 41$ , corresponde a una masa rocosa de Clase III de calidad Regular. Este valor de  $RMR$  que debe ser corregido tomando en cuenta como se presentan las discontinuidades con el avance de la excavación. La selección del método de explotación ha sido mediante un análisis de procedimiento numérico. Determinándose el método de corte y relleno ascendente (cut and fill).

Vilchez-Ramos (2014) en su tesis "Diseño del método de explotación corte y relleno ascendente en la veta esperanza. (bolsonada 1) Cía. Minera Aurífera Retamas S.A." indica que para muchas empresas, hacer un buen uso de los recursos es una tarea bastante complicada, sobre todo cuando tienen muchos proyectos en mente y desean obtener buenos resultados a corto plazo. Con un análisis de producción tanto de tonelaje como eficiencias, se procedió a realizar el diseño de minado que significarían mejorar los rendimientos de producción aumentando de esta manera el tonelaje. Después de haber realizado el laboreo se volvió a realizar el mismo análisis de rendimientos y resultó en una mejora de las eficiencias y en una mejor producción.

La razón por la cual se determinó reanudar las operaciones en la veta Farallón, fue la necesidad de aprovechar el auge del precio internacional del oro, utilizar la mayor capacidad instalada posible de la planta de beneficio Arasqui, y alargar la vida útil a la minera SMR Las Bravas N°2 de Ica, en el cual su yacimiento principal actualmente en producción y exploración, la veta Cambio se está

agotando las reservas minerales. Con un análisis de producción tanto en tonelaje como eficiencias, se procedió a realizar el estudio de diseño nuevo método de minado en la veta Farallón, el cual incrementara la producción total en un 33.3%, permitiendo trabajar tajos en simultaneo y con mayor seguridad, y en consecuencia obteniendo una mejor producción, con calidad, seguridad y rentabilidad.

Cabe mencionar que el método de explotación es muy importante dentro de la operación minera, anteriormente, era usado el método shirinkage con el cual ha sido preparado para su explotación, donde había dilución exagerada de leyes y las rocas encajonantes incompetentes y mineral con alto grado de alteración. Como tentativa se tiene el método corte y relleno ascendente convencional que en su aplicación es más seguro, mayor selectividad, menos riesgo de accidentes, usando relleno detrítico insitu, buena recuperación de mineral, dada las condiciones del yacimiento nos basaremos en las clasificaciones geomecánicas de la roca (RQD, RMR) también las características geométricas y geológicas del yacimiento utilizando un método numérico para la determinación del método de minado más factible.

### **Alcances y limitaciones**

El trabajo se realizó en la unidad minera SMRL Las Bravas N° 2 de Ica en la veta Farallón de la zona de óxidos, contando con el apoyo de todas las jefaturas de área. Es así como se realizó todo procesos de análisis, selección, preparación y minado durante los meses de abril a julio del presente año 2019.

El presente trabajo elaborado se realiza en base a un proyecto de cambio de método de minado, se centra en el análisis y acciones para retomar los trabajos de explotación de la veta Farallón en la mina SMRL Las Bravas N° 2 de Ica, determinando el método de minado por uno de acuerdo a las características geológicas, estructurales y geomecánicas que más se adapten al yacimiento en mención, el cual contribuirá al incremento de la producción, mediante la mejora de eficiencias y rendimiento a fin de garantizar el ritmo de explotación planificado por la mina.

Como objetivo principal del presente estudio se tiene seleccionar e implementar el método de minado óptimo desde el punto de vista técnico y económico para la explotación de la veta Farallón.

## 2. Materiales y Métodos

La zona de estudio se encuentra en la unidad minera SMRL Las Bravas N° 2 de Ica, ubicado geográficamente en el distrito de Cháparra, provincia de Caravelí, departamento de Arequipa, a una altitud de 1820 m.s.n.m., en el extremo Sur del distrito aurífero de la Costa Sur de Perú que se extiende desde Palpa en Ica por el Norte hasta el río Ocoña por el Sur.

Las coordenadas centrales UTM son:

- 8260,300 N
- 627,200 E

De la hoja 32 O del IGM, zona 18 S.

En la veta Farallón, la mineralización es en forma de clavos mineralizados, perturbado por fallas menores dentro de la estructura mayor, generando concentraciones irregulares y de manera discontinua. Se presentan tramos con escasa presencia de mineralización con algunos caballos y sigmoides, mineralógicamente las vetas están constituidas principalmente de cuarzo masivo, granular, poroso, hematita, goethita, jarocitas, limonitas, oro.

En la veta Farallón de orientación N 60° E y fluctuaciones a E-W, buzamiento 45° al N, es de 200 m de exposición superficial, tiene tramos mineralizados muy importantes con una potencia de 0.30 m a 2 m. y una ley de 0.10 Oz/tm, alcanzando a 0.50 Oz/tm. Se observa un emplazamiento en forma de lentes o rosario con bolsonadas hasta de 10 m de longitud, estas bolsonadas tienen una separación desde 1 m hasta los 10 m.

### Tipo de investigación

El tipo de la investigación que se realizara en el presente trabajo es aplicada el cual persigue fines de aplicación directos e inmediatos, busca para conocer para hacer y para actuar. También se realiza a un nivel de investigación explicativo y usando un método experimental. El material de estudio está formado por el macizo rocoso, estructura mineralizada existente en la veta Farallón de la zona de óxidos en la mina las Bravas n°2 de Ica. Las técnicas usadas en la presente investigación serán por observación directa, análisis de documentos, análisis de costos de producción.

Los instrumentos usados en la presente investigación serán:

- Datos de campo (in situ)
- Análisis de costos de producción y productividad.

### Aspectos geomecánicos

El RMR se obtiene estimando cinco parámetros:

- La resistencia a compresión simple de la roca.
- El RQD (Rock Quality Designation).
- La separación entre las diaclasas
- Su estado.
- La presencia de agua freática.

En este caso se después de evaluar las condiciones geomecánicas de la zona en estudio se determinó el tipo de roca y las condiciones del macizo rocoso:

1. Resistencia compresiva: 85.68 MPa (según departamento de geomecanica Las Bravas)
2. RQD: 40 %
3. Espaciamiento de las discontinuidades: 0,2 mm
4. Condición de las discontinuidades:
 

Persistencia	3 – 10 mm
Apertura	1 - 5 mm .
Rugosidad	Ligeramente rugosa.
Relleno Suave	< 5 mm .
Alteración (o intemperización)	Moderadamente alterada.
Presencia de agua:	ninguna.

Según las valoraciones efectuadas el  $RMR = 37$ , corresponde a una masa rocosa de Clase IV de calidad mala. Este valor de RMR debe ser corregido tomando en cuenta cómo se presentan las discontinuidades con el avance de la excavación.

Del ejemplo la excavación avanzando en masa rocosa donde el sistema principal de discontinuidades tiene rumbo perpendicular al eje de esta galería y buzamiento de  $60^\circ$  en contra del avance, entonces la corrección será de (-5). El RMR corregido será  $RMR = 37 - 5 = 32$ . Ahora la masa rocosa será de Clase IV calidad mala.

Entonces de acuerdo al análisis geomecánico realizado se ha determinado que las cajas no son recomendables e inseguras para un Shrinkage convencional el mismo estudio geomecánico del yacimiento demuestra las nuevas condiciones y probablemente los nuevos parámetros a asumir en el nuevo diseño del nuevo método tentativo de corte y relleno ascendente convencional.

En el diseño de explotación de un yacimiento minero cabe destacar: la selección del método de explotación, el dimensionamiento geométrico de la mina, la determinación del ritmo anual de producción y la ley de corte, la secuencia de extracción.

Resulta muy necesario que dicho proceso de selección responda a un análisis sistemático y global de todos los parámetros específicos del yacimiento: geometría del depósito y distribución de leyes, propiedades geomecánicas del mineral y rocas encajonantes, factores económicos, limitaciones ambientales, condiciones sociales, etc.

Por todo lo antes mencionado, analizaremos todas las características de la veta Farallón para escoger el método adecuado de explotación que condicionará los resultados económicos futuros.

**Tabla 1. Geometría del yacimiento Farallón**

<b>Forma</b>	tabular
Rumbo	N 60° E
Buzamiento	55° N
potencia de veta (m)	1.3
longitud del yacimiento	70
profundidad desde superficie	200

Fuente: Elaboración propia

**Geología del yacimiento Farallón**

Ley de oro	0.3 onz/t
Recuperación	<b>95%</b>

**Geomecánica del yacimiento Farallón**

**Tabla 2. Características geomecánicas del mineral Farallón**

<b>Características geomecánicas del mineral</b>	
Peso específico (t/m <sup>3</sup> )	2.7
Porosidad (%)	08 a 10
<b>Resistencia a la compresión simple (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	
Valores medios	2900 – 3800
Rango de valores	2200 - 8000
Resistencia a la tracción (kg/cm <sup>2</sup> )	874.26
Rock Mass Rating	21 -30

Fuente: Departamento de geomecánica Las Bravas

## Geomecánica de las rocas encajonantes

**Tabla 3.** Geomecánica de las de la caja techo y piso

<b>CARACTERISTICAS GEOMECHANICAS DE LA CAJA TECHO</b>	
Peso específico (t/m <sup>3</sup> )	2.3
Porosidad (%)	10 a 12
<b>Resistencia a la compresion simple (kg/cm)</b>	
Valores medios	2100 -3200
Rango de valores	1000 – 4000
Resistencia a la tracción (kg/cm <sup>2</sup> )	754.3
Rock Mass Rating	31 -35
<b>CARACTERISTICAS GEOMECHANICAS DE LA CAJA PISO</b>	
Peso específico (t/m <sup>3</sup> )	2.3
Porosidad (%)	09 a 14
<b>Resistencia a la compresión simple (kg/cm)</b>	
Valores medios	1900 – 3000
Rango de valores	1200 - 6000
Resistencia a la tracción (kg/cm <sup>2</sup> )	673.6
Rock Mass Rating	31 – 35

Fuente: Departamento de geomecánica Las Bravas

### Selección del método de minado para veta Farallón

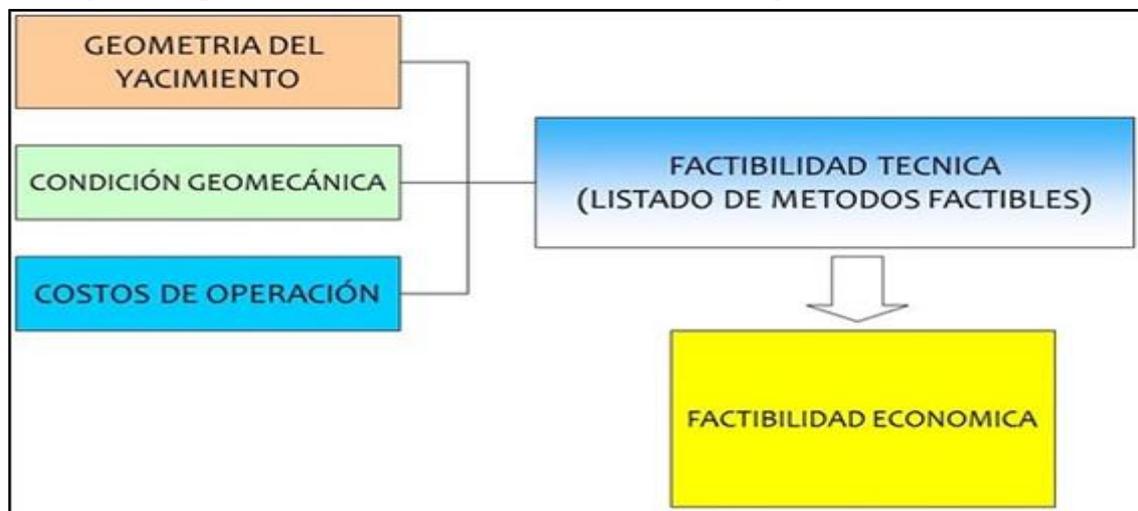
Una vez caracterizado el tipo de yacimiento que se tiene en la veta considerando los geométricos, geomecánicos y geológicos antes descritos se evaluará la factibilidad de aplicar un método minero de explotación subterránea.

Para ello existen varios autores que han elaborado metodologías para seleccionar el mejor método de minado como:

- Boshkov and Wright(1973)
- Hartman (1987)
- Morrison (1976)
- Laubscher (1981)
- Nicholas (1981)

**Metodología de Nicholas:**

Los siguientes parámetros son considerados en la metodología:



**Figura 1.** Fuente: Nicholas(1981)

**Parámetros considerados según la metodología de Nicholas:**

## a) Geometría del Yacimiento

- Descripción de la geometría del yacimiento
- Descripción de la potencia del yacimiento
- Descripción de la inclinación del yacimiento
- Descripción de la profundidad del yacimiento
- Descripción de la distribución de leyes en el yacimiento

## b) Características Geotécnicas del proyecto

- Resistencia de la Roca Intacta
- Numero de estructuras
- Condición de las estructuras

## c) Costos de Operación

Analizando los datos geométricos, geomecánicos y geológicos descritos anteriormente se evaluará la factibilidad de aplicar un método de explotación subterránea. Para ello, se hace uso de la teoría de selección según Nicholas (1981), que consiste en calificar cada parámetro del yacimiento de acuerdo al método que se está evaluando.

Las siguientes tablas a continuación muestran las calificaciones que se deben asignar a los métodos de acuerdo a los parámetros del yacimiento.

**Yacimiento Farallón:**

- Tabular
- Ancho: 1.3 m
- Buzamiento: 60°
- Mineralización: errática

**Clasificación de métodos de explotación en función a su orientación y distribución de leyes.**

**Tabla 4.** Clasificación en función a su orientación y distribución de leyes.

METODO DE EXPLOTACION	Orientación del yacimiento			Distribución de leyes		
	Horizontal	Interm.	vertical	uniforme	gradacional	errático
Cielo abierto	3	3	4	3	3	3
Hundimiento por bloques	3	2	4	4	2	0
Cámaras por subnivel	1	1	4	4	2	1
Tajeo por subniveles	2	1	4	3	3	1
Taladros largos	4	0	-49	4	2	0
Cámaras y pilares	4	1	0	3	3	3
Cámaras almacén	2	1	4	3	2	1
Corte y relleno	0	3	4	3	3	3
Top slicing	4	1	2	4	2	0
Cuadros de madera	2	2	3	3	3	3

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 5.** Forma y potencia de la veta Farallón

METODO DE EXPLOTACION	Forma general del yacimiento			Potencia del yacimiento			
	Masiva	Tabular	Irregular	Baja	interm.	Alta	Muy alta
Cielo abierto	3	2	3	2	3	4	4
Hundimiento por bloques	4	2	0	-49	0	2	4
Cámaras por subnivel	3	4	1	-49	0	4	3
Tajeo por subniveles	2	2	1	1	2	4	3
Taladros largos	-49	4	-49	4	0	-49	-49
Cámaras y pilares	0	4	2	4	2	-49	-49
Cámaras almacén	2	2	1	1	1	2	4
Corte y relleno	0	4	2	4	4	0	0
Top slicing	3	3	0	-49	0	3	4
Cuadros de madera	0	2	4	4	4	4	1

Fuente: Elaboración propia

**Características geotécnicas mineral**

- UCS = 85.68 Mpa , Profundidad= 200m, P.E=2.70Ton/m<sup>3</sup>
- RQD= 40%
- Espaciamiento: 08 ff/m
- Condición estructuras: estructuras con relleno con resistencia menor a la roca intacta

*Tabla 6. Competencia de la roca intacta del mineral*

METODO DE EXPLOTACION	Competencia Roca Intacta		
	Baja	Mediana	Alta
Cielo abierto	3	4	4
Hundimiento por bloques	4	1	1
Cámaras por subnivel	0	3	3
Tajeo por subniveles	-49	3	4
Taladros largos	4	1	0
Cámaras y pilares	0	3	4
Cámaras almacén	1	3	4
Corte y relleno	3	2	2
Top slicing	2	3	3
Cuadros de madera	4	1	1

Fuente: Elaboración propia

Características geotécnicas mineral según su Espaciamiento de fracturas y Resistencia Estructuras

*Tabla 7. Espaciamiento de fracturas y Resistencia Estructuras*

METODO DE EXPLOTACION	Espaciamiento de fracturas				Resistencia Estructuras		
	Muy cercana	Poco espac.	Espaciadas	Muy espaciada	Baja	Media	Alta
Cielo abierto	2	3	4	4	2	3	4
Hundimiento por bloques	4	4	3	0	4	3	0
Cámaras por subnivel	0	2	4	4	0	2	2
Tajeo por subniveles	0	0	1	4	0	2	4
Taladros largos	4	4	0	0	4	3	0
Cámaras y pilares	0	1	2	2	0	2	4
Cámaras almacén	0	1	3	4	0	2	4
Corte y relleno	3	3	2	2	3	3	2
Top slicing	1	1	2	4	1	2	4
Cuadros de madera	4	4	2	1	4	3	2

Fuente: Elaboración propia

**Características geotécnicas de la caja techo**

- UCS = 95 Mpa, Profundidad= 200m, P.E=2.4Ton/m<sup>3</sup>
- RQD= 65%
- Espaciamiento: 4 ff/m
- Condición estructuras: con relleno con resistencia menor a la roca intacta

*Tabla 8. Características geomecánicas de la caja techo*

CAJA TECHO METODO DE EXPLOTACION	Competencia roca intacta				Espaciamiento Fracturas				Resistencia Estructuras		
	B	M	A	MC	PE	E	ME	B	M	A	
Cielo abierto	3	4	4	2	3	4	4	2	3	4	
Hundimiento por bloques cámaras por subnivel	4	2	1	3	4	3	0	4	2	0	
Tajeo por subniveles	-49	3	4	-49	0	1	4	0	2	4	
Taladros largos	4	2	0	4	4	3	0	4	2	0	
Cámaras y pilares	0	3	4	0	1	2	4	0	2	4	
Cámaras almacén	4	2	1	4	4	3	0	4	2	0	
Corte y relleno	3	3	2	3	3	2	2	3	3	2	
Top slicing	4	2	1	3	3	3	0	4	2	0	
Cuadros de madera	3	2	2	3	3	2	2	4	3	2	

B= Bajo    M= Medio    A= Alto    MC= Muy cercano    PE= Poco espaciado    E= Espaciado  
ME= Muy espaciado

Fuente: Elaboración propia

*Tabla 9. Condiciones geotécnicas de la caja piso*

CAJA PISO METODO DE EXPLOTACION	Competencia roca intacta				Espaciamiento Fracturas				Resistencia Estructuras		
	B	M	A	MC	PE	E	ME	B	M	A	
Cielo abierto	3	4	4	2	3	4	4	2	3	4	
Hundimiento por bloques	2	3	3	1	3	3	3	1	3	3	
Cámaras por subnivel	0	2	4	0	1	3	4	0	2	4	
Tajeo por subniveles	0	2	4	0	0	2	4	0	1	4	
Taladros Largos	2	3	3	1	2	4	3	1	3	3	
Cámaras y pilares	0	2	4	0	1	3	3	0	3	3	
Cámaras almacén	2	3	3	2	3	3	2	2	2	3	
Corte y relleno	4	2	2	4	4	2	2	4	4	2	
Top slicing	2	3	3	1	3	3	3	1	2	3	
Cuadros de madera	4	2	2	4	4	2	2	4	4	2	

B= Bajo    M= Medio    A= Alto    MC= Muy cercano    PE= Poco espaciado    E= Espaciado  
ME= Muy espaciado

Fuente: Elaboración propia

### Características geotécnicas de la caja piso

- UCS = 60 MPa, Profundidad= 200m, P.E=2.4Ton/m<sup>3</sup>
- RQD= 65%
- Espaciamiento: 10 ff/m
- Condición estructuras: fracturas con relleno arcilloso

### Factores de peso

- Geometría del yacimiento 1
- Condiciones geomecánicas del mineral 0.75
- Condiciones geomecánicas de la caja techo 0.6
- Condiciones geomecánicas de la caja piso 0.38

De los resultados obtenidos usando la metodología de Nicholas podemos concluir que el método más factible es el corte y relleno ascendente sobre el método shirinkage en la veta Farallón.

*Tabla 10. Resultados de ambos métodos*

Método	Yacimiento	Mineral	Caja techo	Caja piso	Total	Opción
<b>C &amp; R</b>	15	6	4.8	4.56	<b>30.36</b>	<b>1</b>
<b>Shirinkage</b>	8	4.5	4.2	2.66	<b>19.36</b>	<b>2</b>

Fuente: Elaboración propia

### Los instrumentos y recolección de datos

Los instrumentos usados en la presente investigación serán:

- Datos de campo (in situ), realizando los trabajos en campo basándonos en la observación, descripción y el levantamiento de información geológica y estructural de la estructura mineralizada, la toma de muestras para ensayos de propiedades físico-mecánicas de la roca.
- Análisis de productividad, aquellos trabajos realizados en gabinete donde se ordena, tabula y elabora la información obtenida en el campo y los reportes proporcionados del área de geomecánicas y costos. Para este trabajo se emplea herramientas y técnicas como los programas de cómputo para la representación estereográfica, los métodos estadísticos para caracterizar el macizo rocoso, el empleo del método numérico para selección de método de minado, los mismos que se evalúan en términos económicos para finalmente seleccionar el método óptimo.

### 3. Resultados y Discusión

Después de contemplar los resultados del método numérico de selección y aspectos geomecánicos de cambio en la calidad de la roca y estructura mineralizada, no solo por seguridad también por la productividad y eficiencia del ciclo de minado a realizar, se ha cambiado a corte y relleno ascendente.

Considerando que la potencia de las vetas y la mineralización del oro es de comportamiento tipo rosario, alternada y variada. Las vetas oscilan entre 0,3 hasta los 2 metros de potencia. El método de explotación empleado es de Corte y Relleno Ascendente, el cual garantiza una adecuada recuperación, estabilidad y selectividad del mineral.

#### **Comparación shirinkage vs corte y relleno para la veta Farallón.**

El método corte y relleno es más versátil y aplicable a vetas cuya potencia este entre los 0,3 y 4 m. El ángulo de buzamiento del depósito debe ser fuerte, la veta farallón en sus tres niveles tiene un promedio de 60°, de manera que se puede aprovechar la gravedad para su extracción.

#### **Labores de preparación**

Actualmente en la mina se están trabajando una sola veta en sus dos niveles, las cuales son:

- Veta Farallón del nivel 1820, es de mayor potencia y se ha desarrollado solo un tajo de 24 m de largo y explorando a lado este de la veta.
- Veta Farallón del nivel 1860, se está preparando tolvas de doble compartimento con buzón y camino a cada 20 metros, sobra las labores anteriormente construidas para el método shirinkage. la que se está tomando como modelo del estudio.
  
- **Galerías** se rehabilita la galería 1370 NW en el nivel 1860 para traslado de mineral, ingreso de materiales (madera, explosivos, aceros), instalando tuberías de agua , aire e instalación eléctrica.
- **Subniveles** se retoma los mismo subniveles desarrollados para el método shirinkage, un total de 70m de subnivel con una sección de 1.20 x 1.80m de sección, a partir del cual se empezara el primer corte para el método corte y relleno ascendente.
- **Chimeneas** de las dos chimeneas construidas para el método shirinkage, se ha desarrollado una chimenea intermedia para buzón y camino, hasta el nivel 1914 con fines de ventilación del tajo y delimitar el tajo en dos bloques.

- **Shute tolva y camino** son 14 tolvas simples construidas para el método shirinkage, se ha tomado 4 tolvas a cada 20 metros para rehabilitar y agregar su acceso a las tolvas, las cuales servirán de acceso y echadero en todo el largo del tajo.

**Tabla 11. Resumen de costos de preparación para corte y relleno**

				TIPO DE CAMBIO	3.38
LABORES DE PREPARACION C&R	unidad	cantidad	P.U(\$)+IGV	SUBTOTAL	
CRUCERO	metros	50	258.7	12935	
GALERIA	metros	150	360.1	54015	
SUBNIVEL	metros	70	229.1	16037	
CHIMENEA DOBLE COMPARTIMIENTO	metros	3	297.1	891.3	
CHIMENEA SIMPLE	metros	0	264.9	0	
EMBUDOS	unidad	0	245.7	0	
<b>TOTAL AVANCES + IGV (US\$)</b>				<b>83878.3</b>	
SOSTENIMIENTO Y SERVICIOS	unidad	cantidad	P.U(\$)+IGV	SUBTOTAL	
CUADRO RECTO - GALERIA 1.50 x 1.80m	unidades	20	186.2	3724	
TOLVA AMERICANA DOBLE COMPARTIMIENTO	unidades	3	296.4	889.2	
SOBRECUADRO COJO EN CH	unidades	9	80.56	725.04	
TOLVA SIMPLE	unidades	0	154.7	0	
<b>TOTAL SOSTENIMIENTO + IGV (US\$)</b>				<b>5338.24</b>	
<b>TOTAL COSTOS DE PREPARACION POR CORTE Y RELLENO (US\$)</b>				<b>89216.54</b>	

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 12. Resumen de costos de preparación shirinkage**

				TIPO DE CAMBIO	3.38
LABORES DE PREPARACION	unidad	cantidad	P.U(\$)+IGV	SUBTOTAL	
CRUCERO	metros	50	258.7	12935	
GALERIA	metros	150	360.1	54015	
SUBNIVEL	metros	70	229.1	16037	
CHIMENEA DOBLE COMPARTIMIENTO	metros	0	297.1	0	
CHIMENEA SIMPLE	metros	2	264.9	529.8	
EMBUDOS	unidad	14	245.7	3439.8	
<b>TOTAL AVANCES + IGV (US\$)</b>				<b>86956.6</b>	

SOSTENIMIENTO Y SERVICIOS	unidad	cantidad	P.U(\$)+IGV	SUBTOTAL
CUADRO RECTO - GALERIA 1.50 x 1.80m	unidades	20	186.2	3724
TOLVA AMERICANA DOBLE COMPARTIMIENTO	unidades	0	296.4	0
SOBRECUADRO COJO EN CH	unidades	0	80.56	0
TOLVA SIMPLE	unidades	14	154.7	2165.8
<b>TOTAL SOSTENIMIENTO + IGV (US\$)</b>				<b>5889.8</b>

TOTAL COSTOS DE PREPARACION POR SHIRINKAGE (US\$)

**92846.4**

Fuente: Elaboración propia

Como se puede apreciar hay una diferencia de 3629.86 dólares por costos de preparación entre los métodos mencionados, siendo el corte y relleno ascendente convencional que requiere menor costo de preparación, esta cifra bastante relevante para a tomar en cuenta para futuros proyectos.



**Figura 2.** Diferencia de costos de preparación

**Tabla 13. Indicadores de los métodos**

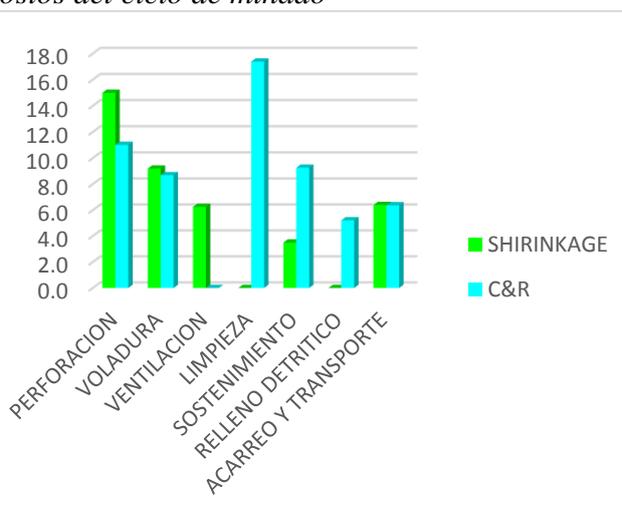
Indicadores	Unidad	Shrinkage	C&R
Ancho de minado	m	1.5	1.5
Long. De minado	m	70	70
Altura de minado promedio	m	1.8	1.8
Potencia de veta prom.	m	1.3	1.3
Potencia de veta diluido	m	1.8	1.5
Toneladas de mineral diluido	m	442	510
tiempo de ejecución	guardia	13	13
indicador de producción	t/gdia	34	39
n° de tareas	tarea	56	56
indicador de mano de obra	t/hg	7.9	9.1
Disparos	unidad	17	14
taladros cargados	unidad	350	288
taladros de alivio	unidad	0	0
pies perforados	pp	2100	1728
indicador de perforación	pp/t	1.6	1.7
kg dinamita 45%	kg	164.5	135.4
indicador de voladura	kg/t	2.7	3.8
cuadros	pza.	0	7
area sostenida	m <sup>2</sup>	80	80
puntales	unidad	50	50
indicador de sostenimiento	m <sup>2</sup> / p <sup>2</sup>	25	25

Fuente: Elaboración propia

Sin embargo hay una diferencia significativa de 0.31 \$/t por costo de minado por el método corte y relleno ascendente.

**Tabla 14. Resumen de costos del ciclo de minado**

RESUMEN DE COSTOS PRODUCCION	C&R	SHIRINKAGE
PERFORACION	0.77	0.81
VOLADURA	0.28	0.30
VENTILACION	0.10	0.25
LIMPIEZA	1.6	1.65
SOSTENIMIENTO	0.50	0.62
RELLENO DETRITICO	0.47	0.00
ACARREO Y TRANSPORTE	0.80	0.80
PALLAQUEO DE MINERAL	0.00	0.40
<b>TOTAL \$/TM</b>	<b>4.52</b>	<b>4.83</b>



Fuente: Elaboración propia

- Joaquin-Ticona (2015) concluye lo siguiente *“Aplicando el método corte y relleno ascendente en la explotación de la veta Celia, hay una mejora de los indicadores de la variable dependiente: El costo de operación (minado) disminuye en un 23 %; el desmonte y mineral con ley baja se puede dejar como pilar. El costo de explotar el tajeo por el método shirinkage con un total de S/.22,01/t, en tanto el costo de operación de la explotación aplicando el método corte y relleno ascendente en la veta Celia dando un total de S/.17,61/t. Se tiene un costo menor de 4,40 S/.t del corte & relleno ascendente con respecto al shrinkage, lo cual hace ventajosa su aplicación y concluir que se puede continuar con la explotación de esta veta a pesar de una mayor incompetencia de la roca caja.”*
- Lopez-Arancibia (2012) concluye que *“La voladura masiva con faneles es aplicable en tajeos con RMR > 45, optimizando el ciclo en 51 guardias, obteniendo una productividad de 2.25 Ton/tarea, pues con esto se logra estabilizar el terreno con aberturas no mayores a 4.5 metros (tajeo vacío), en el proceso de perforación y voladura se optimiza procesos como ventilación, desatado de roca.”*

Efectivamente, y de manera satisfactoria se obtiene resultados similares en reducción de costos de preparación y explotación, siendo este el método más factible, porque la gran limitación que se tiene es las labores que se desarrollaron para preparación con el método shirinkage, es así que no se incurrió en mucha inversión para dicho cambio de método.

#### 4. Conclusiones

- En toda explotación minera se tiene una máxima el cual indica que el método de explotación debe cumplir dos requisitos “seguridad y rentabilidad”. Es por ello que se realizó un estudio orientado a seleccionar un método óptimo desde el punto de vista técnico-económico para la explotación de la veta Farallón.
- Según las valoraciones geomecánicas efectuadas y su corrección se tiene un RMR = 32, corresponde a una masa rocosa de Clase IV de calidad mala. Entonces de acuerdo al análisis geomecánico realizado se ha determinado que las cajas no son recomendables e inseguras para un Shrinkage convencional, el mismo estudio demuestra las nuevas condiciones y probablemente los nuevos parámetros a asumir para el método corte y relleno ascendente.
- Después de contemplar los resultados del método numérico de selección y aspectos geomecánicos en la calidad de la roca y estructura mineralizada, se ha optado por el método

corte y relleno ascendente, con el cual se tiene una reducción en los costos de preparación en 3629.86, y también se tiene una reducción de 0.31 \$/t por costo de minado por corte y relleno ascendente respecto al anterior método, el cambio es satisfactorio y recomendable no solo por seguridad también por la productividad y eficiencia del ciclo de minado, el cual garantiza una adecuada recuperación, estabilidad y selectividad del mineral.

### **Recomendaciones**

- Una buena alternativa para seleccionar el método de minado más adecuado es la metodología de Nicholas, ya que toma en cuenta las principales características del yacimiento como son: La geometría del yacimiento, características geotécnicas y los costos de minado, encontrando un equilibrio entre los problemas técnicos y el costo de minado del mismo reuniendo todos los requisitos y condiciones los yacimientos.
- Es indispensable invertir en estudios de proyectos de inversión en exploraciones y aumentar el horizonte de reservas minerales, mientras que se tengan contextos externos atractivos, ya que el valor de mineral satisface el costo beneficio de las operaciones.

## **5. Agradecimientos**

Mi eterna gratitud a Dios por mantenerme siempre en pie en tiempos difíciles, por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi momento y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de estudio.

A mi amada esposa Nancy por su constante sacrificio y amor, a mi madre y mis hermanitos, porque creyeron en mí, dándome ejemplos dignos de superación y entrega, porque en gran parte gracias a ellos hoy puedo ver alcanzado mi meta.

A nuestra prestigiosa Facultad de Ingeniería de Minas, a toda la plana docente y administrativos, por todos los conocimientos experiencias y consejos inculcados durante mi formación profesional.

A la empresa minera smrl las Bravas n°2 de Ica, por brindarme la oportunidad y confianza para proponer, realizar el cambio y hacer posible el presente trabajo. Así mismo, a todo el staff, supervisores, inspectores y personal con el que laboré y que me brindaron su apoyo desinteresado.

## 6. Literatura citada

- Cabello-Corman, N.N. (2008). *Selección del método de explotación para la veta Piedad en la Mina Catalina Huanca , Ayacucho* (Universidad Nacional Mayor de San Marcos). Retrieved from <http://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/cybertesis/2144%0A>
- Calixto-Sotelo, C. (2015). *Control de dilución optimizando los procesos unitarios de perforación, voladura y acarreo: caso práctico; una mina subterránea del norte* (Pontificia Universidad Católica del Perú). Retrieved from <http://hdl.handle.net/20.500.12404/6472%0A>
- Cuadros-Aquino, G. (2015). *Evaluación geomecánica para el cambio de método de minado open stoping a corte y relleno ascendente convencional en la veta Atahualpa-Lola de la mina Poderosa*. (Universidad Nacional San Cristobal de Huamanga). Retrieved from <http://repositorio.unsch.edu.pe/handle/UNSCH/998>
- Huamán-Carpio, L. A. (2018). *Proyecto de explotación por corte y relleno ascendente - Unidad Minera Paraíso Azuay - Ecuador* (Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa). Retrieved from <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/5114>
- Joaquín-Ticona, D. Y. (2015). *Cambio de método de explotación de shirinkage por corte y relleno ascendente en Apminac Pulpera* (Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann-Tacna). Retrieved from <http://www.unjbg.edu.pe/institucion/historia.php>
- Laura-Lazo, H. R. (2015). *Implementación del método corte y relleno ascendente semimecanizado para mejorar la productividad en Mina Julcani, Compañía de Minas Buenaventura S.A.A.* (Universidad Nacional del Centro del Perú). Retrieved from <http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/UNCP/1347>
- Lopez-Arancibia, Y. B. (2012). *Optimización del método de explotación corte y relleno ascendente para incrementar la producción en la Compañía Minera Cobre Nazca Unidad Santa - Ana* (Universidad Nacional del Centro del Perú). Retrieved from <http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/UNCP/3171>

- Ricaldi-Sanchez, E.C. (2018). *Planeamiento de minado en veta filoneana con buzamiento promedio a 45° en la mina smrl las Bravas n°2 de Ica* (Universidad Nacional Daniel Alcides Carrion). Retrieved from <http://repositorio.undac.edu.pe/handle/undac/1363>
- Rincon-Urfano, Z. A. (2013). *Estudio para determinar e implementar el método de explotación en la mina Taskataska* (Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurimac). Retrieved from <http://repositorio.unamba.edu.pe/handle/UNAMBA/293>
- Vilchez-Ramos, C. de los M. (2014). *Diseño del método de explotación corte y relleno ascendente en la veta Esperanza. (Bolsonada I) compañía minera aurífera Retamas S.A* (Universidad Nacional de Piura). Retrieved from <http://repositorio.unp.edu.pe/handle/UNP/985>