

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO DE PUNO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS**



**OPTIMIZACIÓN DE PLAN DE MINADO A CORTO PLAZO EN  
LA UNIDAD MINERA TACAZA – PUNO**

**TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL**

**PRESENTADO POR:**

**Bach. JIMY FRANCO COANQUI PACHA**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO DE MINAS**

**PUNO - PERU**

**2019**

## **DEDICATORIA**

A mis padres Maximo Coanqui y Valentina Pacha; mis hermanos y familiares más cercanos por su gran apoyo incondicional que me brindaron en cada etapa de mi vida por sus esfuerzos y motivaciones, los cuales me ayudaron alcanzar mis objetivos.

**Jimmy Franco**

## **AGRADECIMIENTO**

A todo el equipo de planeamiento de la Unidad Minera Tacaza - CIEMSA, a la Universidad Nacional del Altiplano y a la Facultad de Ingeniería de Minas por el apoyo en la investigación

A mis queridos padres, Maximo Coanqui y Valentina Pacha por su incondicional apoyo.

**Jimmy Franco**

## ÍNDICE GENERAL

**DEDICATORIA**

**AGRADECIMIENTO**

**ÍNDICE GENERAL**

**ÍNDICE DE TABLAS**

**ÍNDICE DE FIGURAS**

**ÍNDICE DE ACRÓNIMOS**

<b>RESUMEN .....</b>	<b>8</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>9</b>
<b>I. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>10</b>
<b>II. MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>12</b>
<b>III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>16</b>
<b>IV. CONCLUSIONES .....</b>	<b>31</b>
<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>32</b>

**Área:** Ingeniería de Minas.

**Línea:** Diseño y Planeamiento en Minería.

**FECHA DE SUSTENTACIÓN:** 07 de noviembre de 2019

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Coordenada del proyecto.....	<b>12</b>
<b>Tabla 2.</b> Parámetros planta Santa Lucia a 1 400 TM .....	<b>12</b>
<b>Tabla 3.</b> Costos U.M. Tacaza.....	<b>13</b>
<b>Tabla 4.</b> Reserva U.M. Tacaza.....	<b>16</b>
<b>Tabla 5.</b> Tratamiento mineral planta y movimiento de mineral de tajo a planta .....	<b>21</b>
<b>Tabla 6.</b> Movimiento de mineral de tajo a <i>stock pile's</i> de mediana y baja ley .....	<b>21</b>
<b>Tabla 7.</b> Remanejo de mineral de <i>stokpile</i> a cancha mineral Tacaza .....	<b>23</b>
<b>Tabla 8.</b> Movimiento desmonte.....	<b>24</b>
<b>Tabla 9.</b> Movimiento total de material .....	<b>25</b>
<b>Tabla 10.</b> Resumen de minado. ....	<b>26</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Modelo de bloques .....	<b>13</b>
<b>Figura 2.</b> Estabilidad pseudoestática .....	<b>14</b>
<b>Figura 3.</b> Optimización de tajo U.M. Tacaza.....	<b>15</b>
<b>Figura 4.</b> Sub-fases U.M. Tacaza. ....	<b>17</b>
<b>Figura 5.</b> Secuenciamiento del periodo 1 al 6.....	<b>18</b>
<b>Figura 6.</b> Secuenciamiento, periodo 7 al 18. ....	<b>19</b>
<b>Figura 7.</b> Secuenciamiento, periodo 19 al 26.....	<b>20</b>
<b>Figura 8.</b> Distribución de movimiento de mineral por mes .....	<b>26</b>
<b>Figura 9.</b> Distribución de movimiento de mineral de tajo a <i>stockpile</i> de mediana ley ..	<b>27</b>
<b>Figura 10.</b> Distribución de movimiento de mineral de tajo a <i>stockpile</i> de baja ley .....	<b>27</b>
<b>Figura 11.</b> Distribución de movimiento de desmonte de tajo a depósitos de desmonte	<b>28</b>
<b>Figura 12.</b> Distribución de movimiento de material total por mes .....	<b>28</b>

## LISTA DE ACRÓNIMOS

CIEMSA	: Consorcio Ingenieros Ejecutores Mineros Sociedad Anónima
S.A.C.	: Sociedad Anónima Cerrado
U.M.	: Unidad Minera
UTM	: <i>Universal Transverse Mercator</i>
WGS 84	: <i>World Geodetic System 1984</i>
TMSD	: Toneladas Métricas Secas Día
NPV	: <i>Net Present Value</i>
MSSO	: <i>MineSight Schedule Optimizer</i>

# **Optimización de plan de minado a corto plazo en la Unidad Minera Tacaza - Puno**

## ***Mining plan optimization to short term in the Unidad Minera Tacaza - Puno***

Jimmy Franco Coanqui Pacha

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

francoanqui@gmail.com, 974414490

<https://orcid.org/0000-0003-4130-728X>

### **RESUMEN**

El presente artículo tiene como lugar de evaluación la U.M. Tacaza, ubicada en el distrito de Santa Lucia, provincia de Lampa - Puno, a partir de septiembre 2019. El objetivo es determinar el movimiento de mineral y desmonte por mes, hacia los destinos de planta, *stockpile's* y depósitos de desmonte. Para el plan de minado se hace uso del *software Minesight* y se referencia la optimización de tajo en base a los costos determinados. El plan de minado se realiza acorde a la producción de 1 100 TMSD con 0,90 % de cobre de ley de cabeza y 81,5 % de cobre de recuperación y la ampliación de la Planta Santa Lucia a 1 400 TMSD con ley de cabeza 0,82 % de cobre y con una recuperación del 71,7 % de cobre. Para optimizar el plan de minado se realiza en tres sub-fases y se cuenta con una reserva de 1 108 891 TM. Como resultados se obtiene el movimiento total de 1 012 660 TM en mineral con un promedio de 0,82 % de cobre y 1 049 547 toneladas métricas en desmonte, con una relación de desmonte y mineral de 1,18 y se establece la vida de la mina a 26 meses de extracción de material y 27 meses de tratamiento planta.

**Palabras clave:** planeamiento, mineral, desmonte, secuencia de minado, tajo abierto

## **ABSTRACT**

*This article has as its place of evaluation the U.M. Tacaza, located in the district of Santa Lucia, province of Lampa - Puno, from September 2019. The objective is to determine the movement of ore and waste per month, towards the destinations of plant, stockpile's and waste deposits. The "Minesight" Software is used for the mining plan and the pit optimization based on the determined costs is referenced. The mining plan is carried out according to the production of 1 100 TMSD with 0,90 % cooper of head grade and 81,5 % recovery and the extension of the Santa Lucia Plant to 1 400 TMSD with 0,82 % cooper head grade and with a recovery of 71,7 %. To optimize the mining plan, it is carried out in three sub-phases and there is a reserve of 1 108 891 TM. The total movement of 1 012 660 TM in ore is obtained with an average of 0,82 % cooper and 1 049 547 TM in waste, with a stripping ratio of 1,18 and the life of the mine is established at 26 months of extraction of material and 27 months of plant treatment.*

**Keywords:** *Planning, ore, waste, mining sequence, open pit*

## I. INTRODUCCIÓN

En el planeamiento a corto plazo de la Unidad Minera Tacaza, es típico y de responsabilidad de los ingenieros de operación, comprender las etapas de un periodo de hasta un año, en el curso de la planificación es característico los planeamientos diarios, semanales y mensuales hasta completar el plan anual. Es en esa instancia de la planificación donde se deben analizar los recursos utilizados en la operación de la mina. (Pantoja & Mayta, 2013)

En el proceso se debe recopilar la información operacional para retroalimentar la planificación de mediano y corto plazo. (Tello, 2017). En la Unidad Minera ARASI S.A.C en el proyecto Jesica, ubicado en el distrito de Ocuwiri, provincia de Lampa en el departamento de Puno, engloba el proceso de planificación que minimiza la desviación de la secuencia de minado establecido por el largo plazo y, tiene como objetivo general evaluar el planeamiento de minado a corto plazo, determinando qué información relevante proviene del in situ de las operaciones mineras, y cuales son necesarias a considerar para procesarlas y luego tener el modelo de leyes y posteriormente establecer el diseño de los cortes de minado. (Valencia, 2019)

“El primer paso práctico en el proceso de planificación, es dividir la reserva general en unidades manejables de planificación. Estas unidades se denominan comúnmente secuencias, expansiones, fases, tajos de trabajo, cortes o *pushback's*” (Hustrulid, Kuchta, & Martin, 2013). El proceso de planificación de corto plazo en la secuencia del Plan de Minado es importante, en la U.M. Tacaza se materializa considerando factores operacionales para lograr las metas de producción a corto y largo plazo. (Goodfellow & Dimitrakopoulos, 2017) Teniendo controles a cada tipo de actividad que se realiza en la U.M Tacaza, así también el factor de seguridad para cada componente establecido (Parra, 2015).

La optimización de tajo abierto es un campo que se ha beneficiado enormemente de este proceso en los últimos años y, ahora podemos llegar lejos más allá de la simple optimización de un contorno de tajo. (Kennedy, 2009). Utilizando el *software Minesight*, se procede a trabajar con polígonos representativos de cada banco y poli líneas direccionales de minado que pueden ser modificado y re-planificado con el fin de asociar un valor particular de tonelaje y ley, *stripping ratio* (relación desmonte-mineral), o alguna variable específica que se quiera adicionar, siendo así que el *software* permita que el usuario fije objetivos múltiples, dadas las restricciones y prioridades definidas por el planificador. (Goncalves, 2019) El programa elegirá qué bloques minar, buscando el objetivo (Franco, Gallo, Henao, & Corzoz, 2012). Además, incluye la funcionalidad de

remanejo de *stockpile*'s, pero asociada a leyes de cobre y/o a litologías. Este programa genera informes con tonelaje y leyes de producción (Veloza, Jorge, & Humberto, 2006).

Para el plan de minado se debe realizar la recopilación de toda la data confiable que asegure un resultado más ajustado y evaluar el valor neto presente (Asad & Topal, 2011).

Por lo tanto, el propósito de este estudio es determinar el movimiento de material optimo (mineral – desmonte) por cada mes, hacia los destinos: planta de tratamiento Santa Lucia, *stockpile*'s (*apilamiento de mineral*) y, botaderos del tajo Josemaría U.M. Tacaza.

## II. MATERIALES Y MÉTODOS

El lugar de investigación es el tajo Josemaría de la Unidad Minera Tacaza – Puno, en la siguiente coordenada UTM WGS-84.

**Tabla 1.** Coordenada del proyecto

<b>Este</b>	<b>Norte</b>	<b>Elevación</b>
314 600	8 272 100	4 300 msnm

Se realizó la perforación de taladros diamantinos en el tajo Josemaría U.M. Tacaza con profundidades de 50m 100m y 200m los cuales fueron logueados y analizados en *coreshak*, (Almacén de testigos de perforaciones diamantinas), para luego llevarlo a una base de datos. A partir de la información obtenida de geología-exploración se obtiene el modelo geológico en base a procesos geoestadístico: inverso a la distancia y *Kriging* ordinario. La optimización del tajo se realiza teniendo los costos unitarios establecidos por la unidad minera. En base a estos costos se realiza la secuencia de minado usando la aplicación MSSO (*MineSight Schedule Optimizer*). Para todo este procedimiento se hace uso del *software* “*Minesight*”. En la tabla 2, se puede apreciar los parámetros de la planta concentradora de la UM Tacaza.

**Tabla 2.** Parámetros planta Santa Lucia a 1 400 TM

<b>Producción diaria</b> (TMS)	<b>Recuperación</b> (%)	<b>Ley Cabeza</b> (% cobre)	<b>Cutoff</b> (% cobre)
1 400	73	0,82	0,62

**Fuente:** Departamento planta U.M. Tacaza

Los costos de planta y tipo de material extraído en dólares por tonelada de la U.M. Tacaza se observa en la tabla 3.

**Tabla 3.** Costos U.M. Tacaza

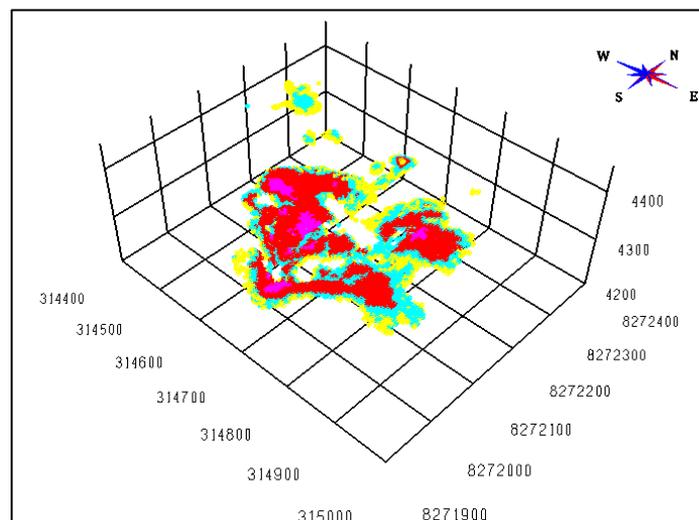
<b>Planta</b> <b>\$/ton</b>	<b>Mineral</b> <b>Planta \$</b>	<b>Excavación</b> <b>\$/TM</b>	<b>Roto</b> <b>\$/TM</b>	<b>Remanejo Mineral</b> <b>\$/TM</b>	<b>Mineral a Stock</b> <b>\$/TM</b>
12,60	2,76	2,18	3,67	1,15	2,47

**Fuente:** Departamento mina U.M. Tacaza

La computadora es de gran ayuda para ayudar a organizar y mantener grandes archivos de datos de perforaciones diamantinas.(Kennedy, 2009)

La altura del bloque es a menudo la del banco que se utilizará en la minería. Además, la ubicación de los bloques depende de una variedad de factores. Por ejemplo, una elevación clave puede basarse en el contacto de mineral sobrecargado, la interfaz entre los tipos de mineralización (óxidos-sulfuros), zonas de alto grado-bajo grado, etc. (Hustrulid et al., 2013).

En la U.M Tacaza actualmente cuenta con recursos de mineral de cobre, plomo y plata para lo cual se estableció bancos de 5 metros de largo, 5 metros de ancho y 5 metros de altura en el plan de minado, como se puede apreciar en la figura 1, esto basado en la disponibilidad de equipo de carguío competente para maniobrar a un alcance de la altura de banco establecido.

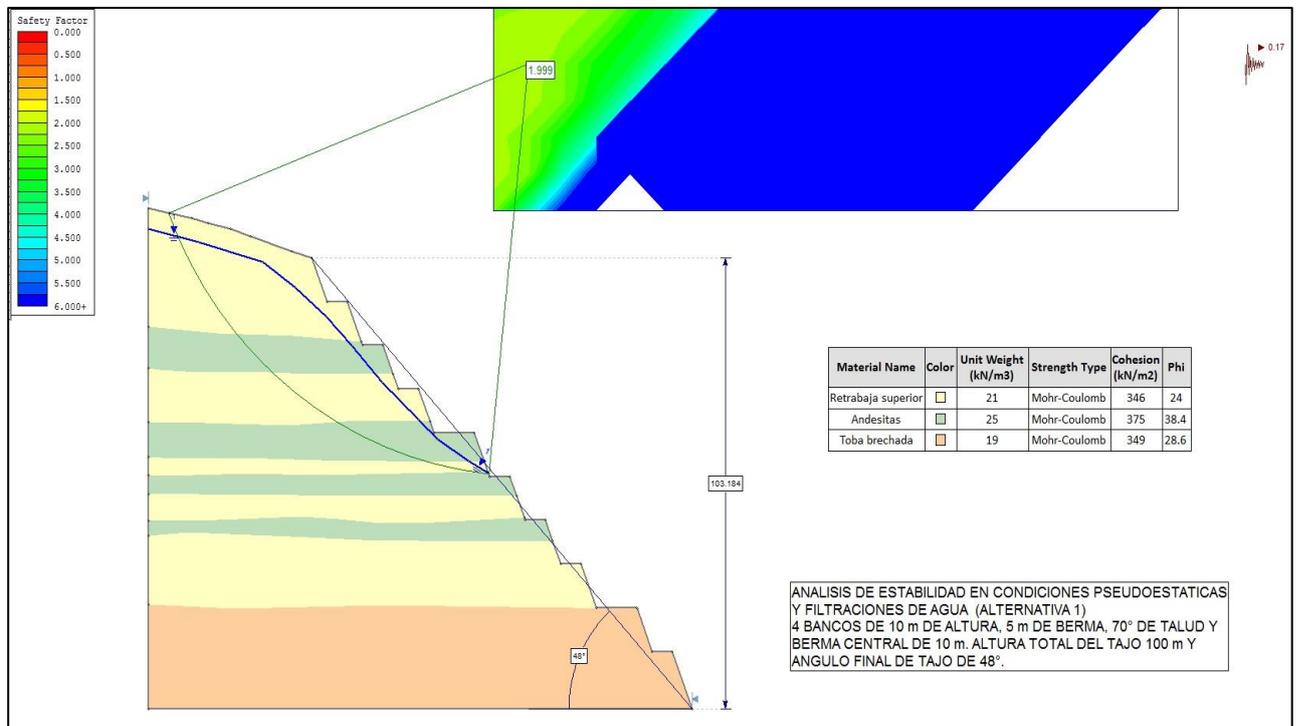


**Figura 1.** Modelo de bloques

De acuerdo al análisis de estabilidad de taludes en un perfil perpendicular a la orientación de los bancos, tomando en cuenta los resultados de los análisis de mecánica de rocas, considerando presencia de agua y condición sísmica que son las más críticas (Alejano, 2010), se consideran

bancos de 70° de inclinación con bermas(banquetas) de 5,0 m y berma central de 10 m de ancho, se considera 4 bancos de 10 m de altura y bermas de 5 m con ángulo de talud final de 48°.

En los cortes de talud de material cuaternario(suelo), los bancos tendrán una inclinación de 50° con bermas de 5 m y altura de 10 m.

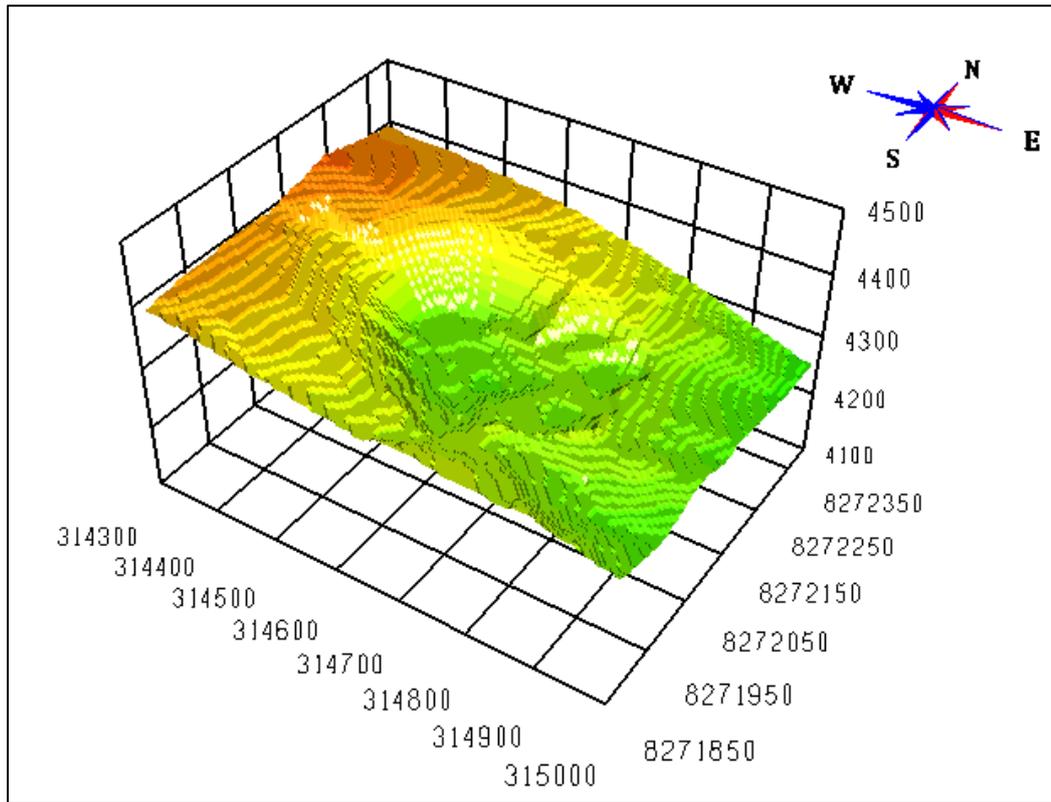


**Figura 2.** Estabilidad pseudoestática

**Fuente:** Área geomecánica U.M. Tacaza

Ahora hay una experiencia considerable en el diseño de tajos usando técnicas de optimización y, suponiendo que el tajo ocupe la mayor parte del ancho y largo del modelo y que el esquema no sea demasiado complicado, entonces un modelo completo de 100 000 hasta 200 000 bloques es generalmente más que suficiente para el diseño del tajo, por supuesto esto conduce a un tamaño de bloque que puede ser más grande que eso para calcular valores. Si es necesario volver a bloquear el modelo de valor, entonces debe hacerse agregando valores de bloque de componentes y no promediando las leyes. (Kennedy, 2009).

Teniendo el modelo de bloques, costos y datos geomecánicos se realiza la optimización del tajo Josemaria U.M. Tacaza – Puno.



**Figura 3.** Optimización de *pit* U.M. Tacaza.

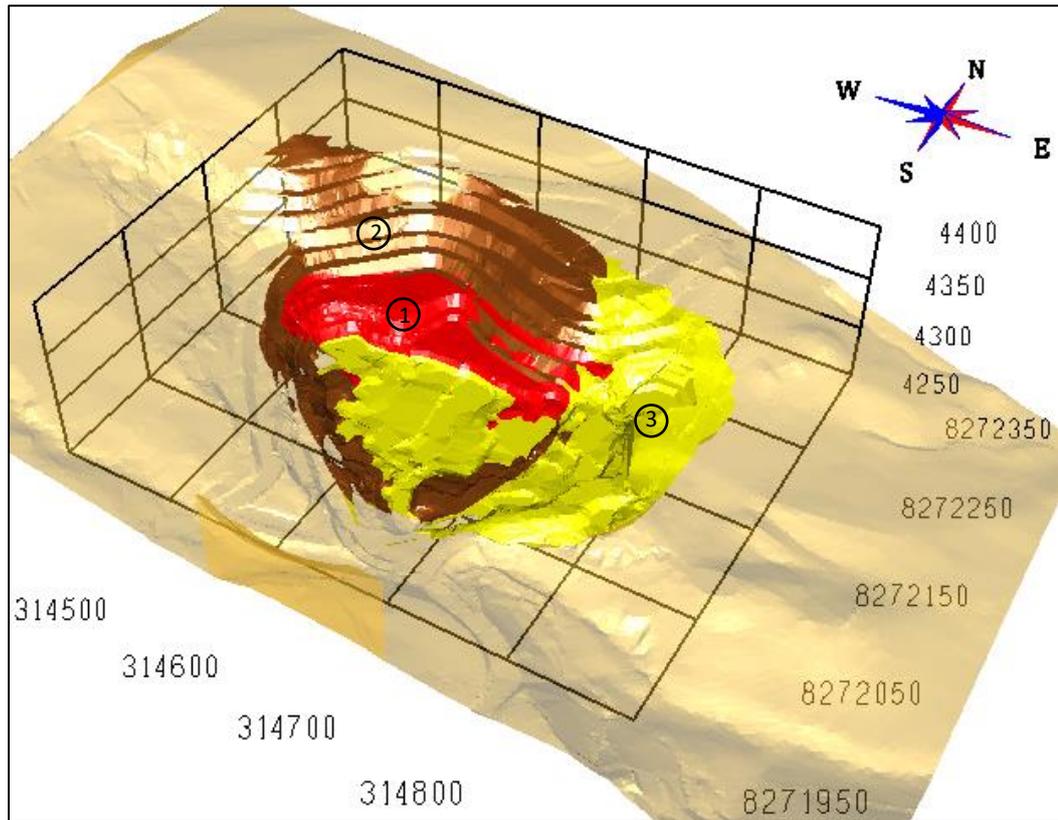
### III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La finalidad de las sub-fases de minado es establecer una secuencia de extracción óptima aproximada en el que se tome en cuenta el tiempo calendario o periodos, los límites de capacidad de producción, tanto de minado como de planta, el costo de oportunidad y las condiciones geométricas de los *pit's* operativos (ancho de minado); para seguir un objetivo, ya sea obtener el máximo valor presente neto o la mayor recuperación de recursos. (Asad & Topal, 2011). Para el secuenciamiento del tajo Josemaría se tiene 3 sub-fases que los cuales se detalla en la tabla 4 y figura 4.

**Tabla 4.** Reserva U.M. Tacaza

<b>Sub-fases</b>	<b>Reserva TM</b>	<b>Ley Cu %</b>	<b>Desmonte TM</b>
1	168 679	0,82	51 349
2	236 800	0,56	705 819
3	851 409	0,55	544 781
<b>TOTAL</b>	<b>1 256 889</b>	<b>0,59</b>	<b>1 301 950</b>

**Fuente:** Departamento mina U.M. Tacaza



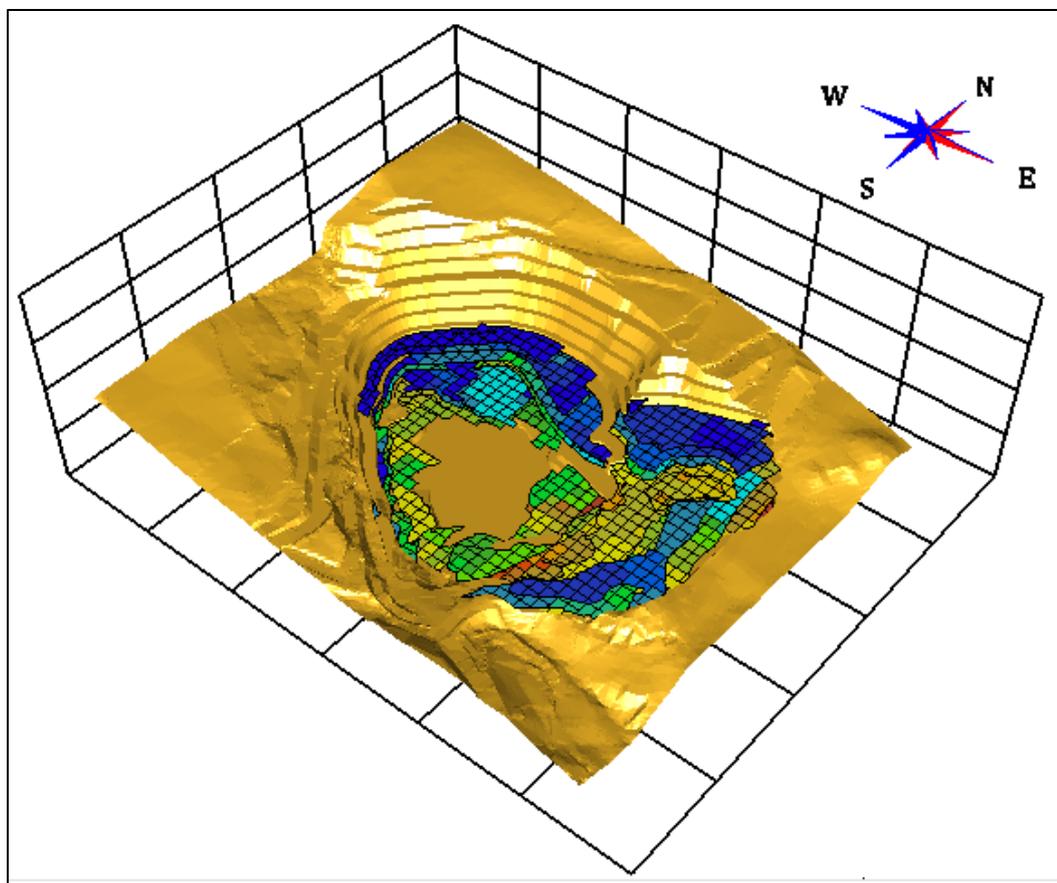
**Figura 4.** Sub-fases U.M. Tacaza.

El objetivo de la programación de producción es maximizar el valor actual neto y el retorno de la inversión que puede ser derivado de la extracción, concentración y venta de algunos productos de un depósito de mineral. El método y la secuencia de extracción, el grado de corte y la estrategia de producción se verá afectado por los siguientes factores primarios: Ubicación y distribución del mineral con respecto a la topografía y elevación; tipos de minerales, características físicas, leyes y distribución de tonelaje; gastos operativos directos asociados con el minado, tratamiento mineral y conversión del producto en forma comerciable; costos de capital iniciales y de reemplazo necesarios para comenzar y mantener la operación; costos indirectos como impuestos y regalías; factores de recuperación de productos y valor; limitaciones de mercado y capital; consideraciones políticas y ambientales. (Kennedy, 2009).

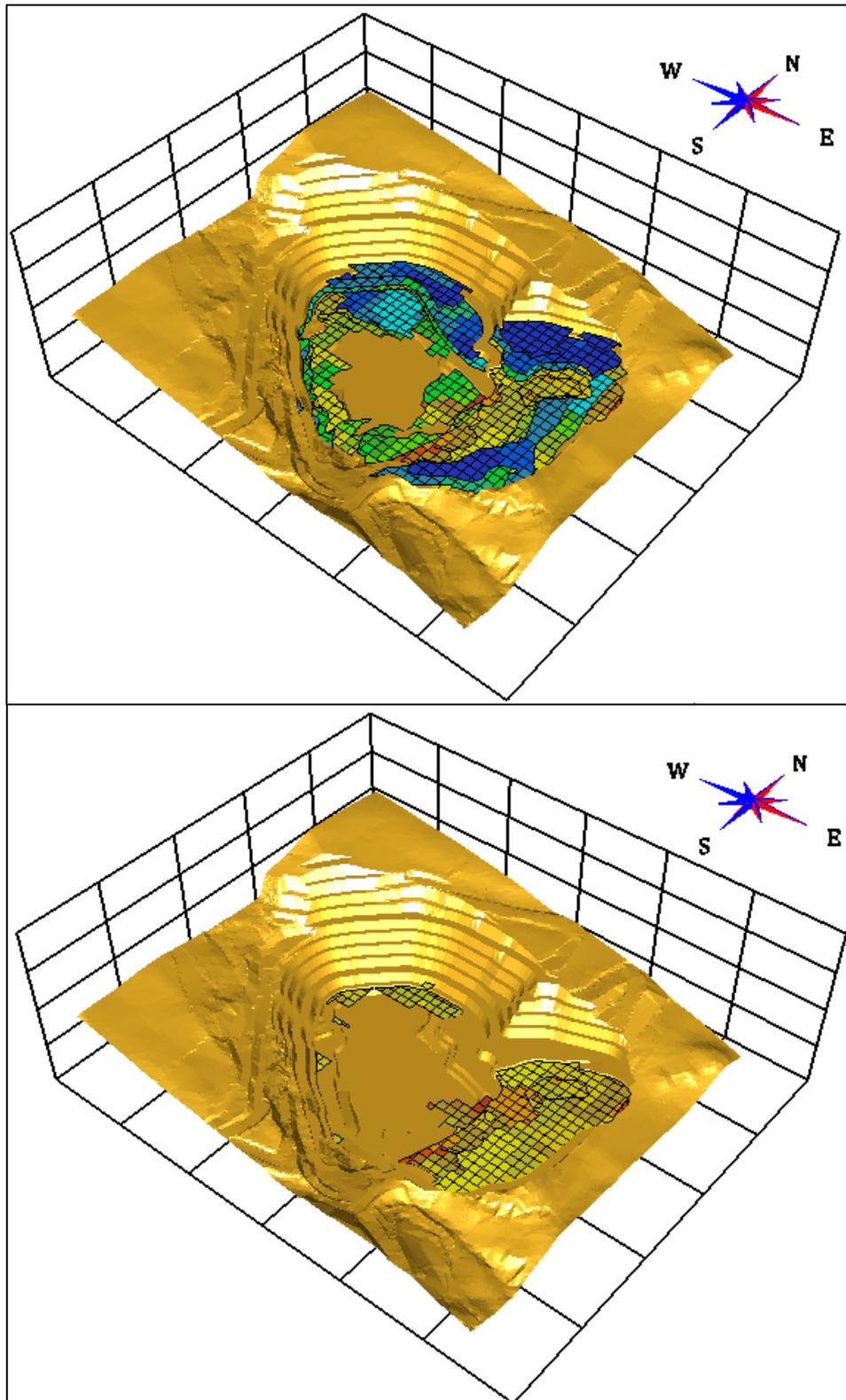
El plan de minado se realizó en base al secuenciamiento de tajo Josemaría el cual se determina en base las sub-fases, teniendo en cuenta el inicio de operación de la ampliación planta Santa Lucia 1400 toneladas métricas. desde el mes de enero 2020, cabe mencionar los meses restantes del año 2019 setiembre, octubre, noviembre y diciembre, el tratamiento de la planta concentradora Santa Lucia es de 1100 toneladas métricas.

Haciendo uso del MSSO (*MineSight Schedule Optimizer*) con parámetros establecidos se realiza el seteo en la mencionada aplicación y se genera los resultados de 27 meses de tratamiento planta y 26 meses de vida de la mina. En la figura 5 se puede apreciar el secuenciamiento del periodo 1 al 6, en la figura 6 el secuenciamiento del periodo del 7 al 18 y en la figura 7 el secuenciamiento del periodo 19 al 26.

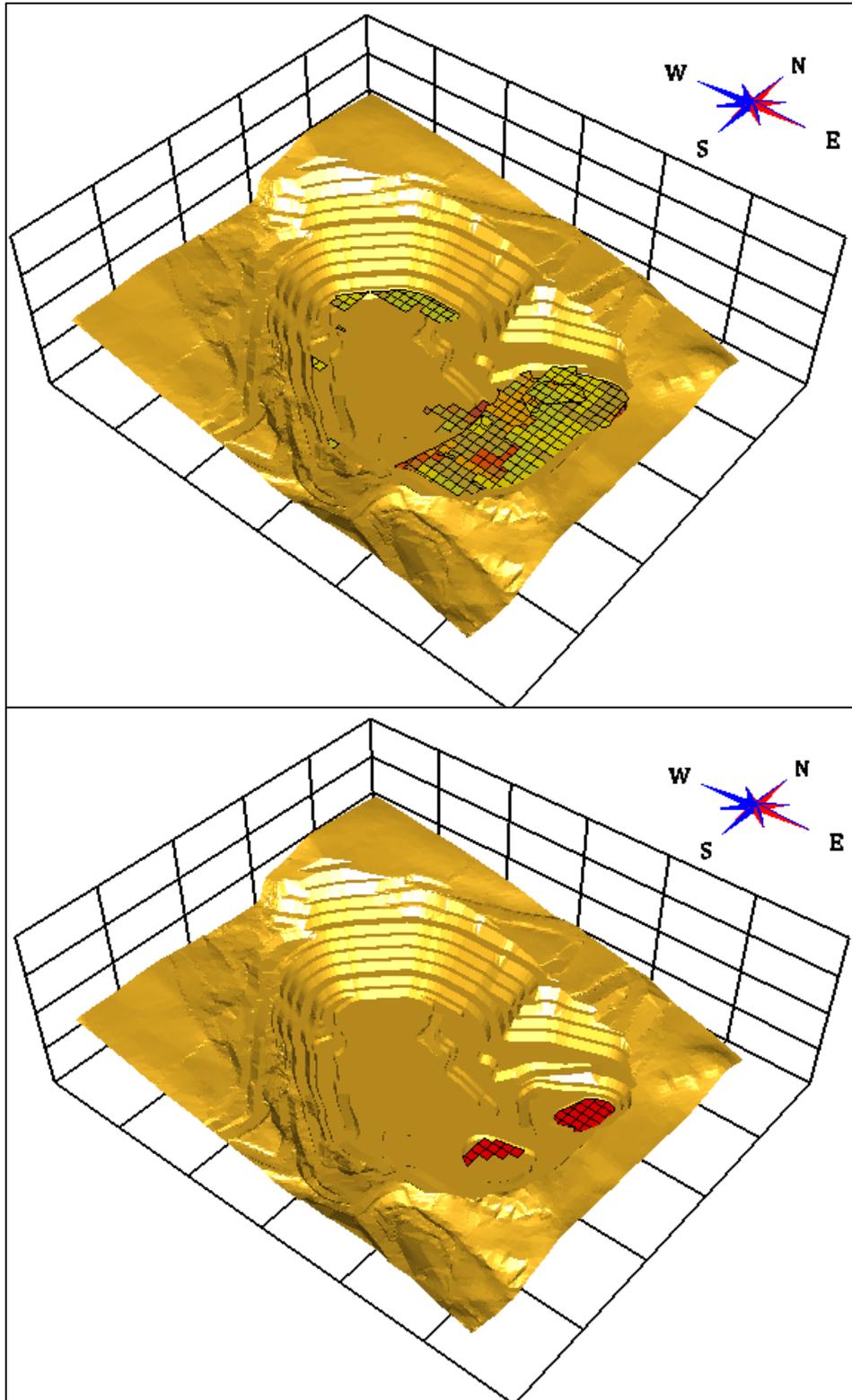
Los parametros de diseño de pit se realizo en base al estudio de Asesoría geomecánica, Ing. C. Vallejo. El resultado del angulo de pit Final (*Overall*)  $42,0^{\circ}$  en roca y  $32,2^{\circ}$  en terreno cuaternario.



**Figura 5.** Secuenciamiento del periodo 1 al 6.



**Figura 6.** Secuenciamiento del periodo 7 al 18.



**Figura 7.** Secuenciamiento del periodo 19 al 26.

Los destinos que se tiene disponible en la U.M. tacaza son los correspondientes a planta, *stock pile* (ley media), *stock pile* (baja ley) y botaderos. en la tabla 5 se aprecia el tratamiento de mineral planta y movimiento de mineral del tajo a planta, en la tabla 6,7, 8 y 9 se manifiesta el movimiento de material por cada destino y las interacciones entre stockpile´s y planta Santa Lucia.

**Tabla 5.** Tratamiento mineral planta y movimiento de mineral de tajo a planta

<b>PERIODO</b>	<b>DÍAS</b>	<b>MINERAL PLANTA (TMS)</b>	<b>LEY MINERAL DE COBRE</b>	<b>MOVIMIENTO DE MINERAL TAJO (TMS)</b>	<b>LEY MINERAL DE COBRE</b>
<b>Set-19</b>	30	31 900	1,03	31 900	1,03
<b>Oct-19</b>	31	33 000	0,83	33 000	0,83
<b>Nov-19</b>	30	31 900	0,89	31 900	0,89
<b>Dic-19</b>	31	39 000	0,87	39 000	0,87
<b>Ene-20</b>	31	42 000	0,83	42 000	0,83
<b>Feb-20</b>	29	39 200	0,84	39 200	0,84
<b>Mar-20</b>	31	42 000	0,90	42 000	0,90
<b>Abr-20</b>	30	40 600	0,90	40 600	0,90
<b>May-20</b>	31	42 000	0,89	42 000	0,89
<b>Jun-20</b>	30	40 600	0,75	40 600	0,75
<b>Jul-20</b>	31	42 000	0,87	42 000	0,87
<b>Ago-20</b>	31	42 000	0,84	42 000	0,84
<b>Set-20</b>	30	40 600	0,82	40 600	0,83
<b>Oct-20</b>	31	42 000	0,82	42 000	0,94
<b>Nov-20</b>	30	40 600	0,84	40 600	0,84
<b>Dic-20</b>	31	42 000	0,82	42 000	0,82
<b>Ene-21</b>	31	42 000	0,80	42 000	0,80
<b>Feb-21</b>	28	37 800	0,88	37 800	0,88
<b>Mar-21</b>	31	42 000	0,83	42 000	0,83
<b>Abr-21</b>	30	40 600	0,85	40 600	0,85
<b>May-21</b>	31	42 000	0,70	41 997	0,70
<b>Jun-21</b>	30	40 600	0,70	40 593	0,70
<b>Jul-21</b>	31	42 000	0,76	41 993	0,76
<b>Ago-21</b>	31	42 000	0,65	41 989	0,65
<b>Set-21</b>	30	40 600	0,54	40 586	0,54
<b>Oct-21</b>	31	42 000	0,54	11 701	0,52
<b>Nov-21</b>	30	35 000	0,50	0	0,51
<b>TOTAL</b>	<b>840.065</b>	<b>1 078 000</b>	<b>0,79</b>	<b>1 012 660</b>	<b>0,82</b>

**Tabla 6.** Movimiento de mineral de tajo a *stockpile* 's de mediana y baja ley

<b>PERIODO</b>	<b>MOVIMIENTO A STOCK Ley Media (TMS)</b>	<b>LEY STOCK DE COBRE</b>	<b>MOVIMIENTO A STOCK Baja Ley (TMS)</b>	<b>LEY STOCK DE COBRE</b>
<b>Set-19</b>	2 982	0,60	2 938	0,49
<b>Oct-19</b>	1 809	0,57	3 286	0,49
<b>Nov-19</b>	9 516	0,54	8 640	0,51
<b>Dic-19</b>	0	0,00	0	0,00
<b>Ene-20</b>	0	0,00	542	0,49
<b>Feb-20</b>	925	0,56	4 748	0,53
<b>Mar-20</b>	2 886	0,58	2 583	0,57
<b>Abr-20</b>	0	0,00	122	0,46
<b>May-20</b>	0	0,00	0	0,00
<b>Jun-20</b>	0	0,00	0	0,00
<b>Jul-20</b>	0	0,00	2 060	0,50
<b>Ago-20</b>	0	0,00	2 242	0,50
<b>Set-20</b>	0	0,00	1 089	0,51
<b>Oct-20</b>	0	0,00	0	0,00
<b>Nov-20</b>	0	0,00	0	0,00
<b>Dic-20</b>	0	0,00	0	0,00
<b>Ene-21</b>	0	0,00	1 468	0,51
<b>Feb-21</b>	0	0,00	1 625	0,47
<b>Mar-21</b>	0	0,00	2 982	0,52
<b>Abr-21</b>	0	0,00	4 033	0,52
<b>May-21</b>	0	0,00	2 150	0,50
<b>Jun-21</b>	0	0,00	2 083	0,50
<b>Jul-21</b>	0	0,00	2 179	0,47
<b>Ago-21</b>	0	0,00	3 062	0,49
<b>Set-21</b>	0	0,00	0	0,00
<b>Oct-21</b>	0	0,00	0	0,00
<b>Nov-21</b>	0	0,00	0	0,00
<b>TOTAL</b>	<b>18 118</b>	<b>0,56</b>	<b>47 830</b>	<b>0,51</b>

**Tabla 7.** Remanejo de mineral de *stokpile* a cancha mineral Tacaza

<b>PERIODO</b>	<b>REMANEJO DE MINERAL Ley Media (TMS)</b>	<b>LEY MINERAL DE COBRE</b>	<b>REMANEJO DE MINERAL Baja Ley (TMS)</b>	<b>LEY MINERAL DE COBRE</b>
<b>Set-19</b>	0	0,00	0	0,00
<b>Oct-19</b>	0	0,00	0	0,00
<b>Nov-19</b>	0	0,00	0	0,00
<b>Dic-19</b>	0	0,00	0	0,00
<b>Ene-20</b>	0	0,00	0	0,00
<b>Feb-20</b>	0	0,00	0	0,00
<b>Mar-20</b>	0	0,00	0	0,00
<b>Abr-20</b>	0	0,00	0	0,00
<b>May-20</b>	0	0,00	0	0,00
<b>Jun-20</b>	0	0,00	0	0,00
<b>Jul-20</b>	0	0,00	0	0,00
<b>Ago-20</b>	0	0,00	0	0,00
<b>Set-20</b>	0	0,00	0	0,00
<b>Oct-20</b>	0	0,00	0	0,00
<b>Nov-20</b>	0	0,00	0	0,00
<b>Dic-20</b>	0	0,00	0	0,00
<b>Ene-21</b>	0	0,00	0	0,00
<b>Feb-21</b>	0	0,00	0	0,00
<b>Mar-21</b>	0	0,00	0	0,00
<b>Abr-21</b>	0	0,00	0	0,00
<b>May-21</b>	3	0,57	0	0,00
<b>Jun-21</b>	7	0,57	0	0,00
<b>Jul-21</b>	8	0,57	0	0,00
<b>Ago-21</b>	11	0,57	0	0,00
<b>Set-21</b>	0	0,00	14	0,49
<b>Oct-21</b>	18 085	0,56	12 215	0,53
<b>Nov-21</b>	6	0,59	34 994	0,50
<b>TOTAL</b>	<b>18 118</b>	<b>0,56</b>	<b>47 222</b>	<b>0,51</b>

**Tabla 8.** Movimiento desmonte

<b>PERIODO</b>	<b>MOVIMIENTO DE DESMONTE (TMS)</b>	<b>MOVIMIENTO DE DESMONTE (M3)</b>	<b>LEY DESMONTE COBRE</b>
<b>Set-19</b>	122 187	67 443	0,04
<b>Oct-19</b>	131 923	72 847	0,03
<b>Nov-19</b>	99 967	55 412	0,03
<b>Dic-19</b>	111 023	61 617	0,01
<b>Ene-20</b>	107 459	59 221	0,06
<b>Feb-20</b>	55 147	29 788	0,11
<b>Mar-20</b>	52 689	26 177	0,31
<b>Abr-20</b>	19 306	9 810	0,26
<b>May-20</b>	52 576	27 415	0,20
<b>Jun-20</b>	19 426	9 585	0,42
<b>Jul-20</b>	15 944	7 484	0,51
<b>Ago-20</b>	15 766	7 970	0,40
<b>Set-20</b>	18 324	9 395	0,31
<b>Oct-20</b>	18 008	8 833	0,35
<b>Nov-20</b>	19 431	10 086	0,22
<b>Dic-20</b>	18 004	8 634	0,35
<b>Ene-21</b>	16 564	7 807	0,46
<b>Feb-21</b>	18 400	9 570	0,28
<b>Mar-21</b>	15 057	7 550	0,36
<b>Abr-21</b>	22 073	10 851	0,36
<b>May-21</b>	25 862	12 004	0,56
<b>Jun-21</b>	17 339	8 928	0,38
<b>Jul-21</b>	15 839	8 163	0,34
<b>Ago-21</b>	14 954	7 915	0,20
<b>Set-21</b>	13 485	6 274	0,50
<b>Oct-21</b>	12 794	6 995	0,19
<b>Nov-21</b>	0	0	0
<b>TOTAL</b>	<b>1 049 547</b>	<b>557 772</b>	<b>0,16</b>

**Tabla 9.** Movimiento total de material

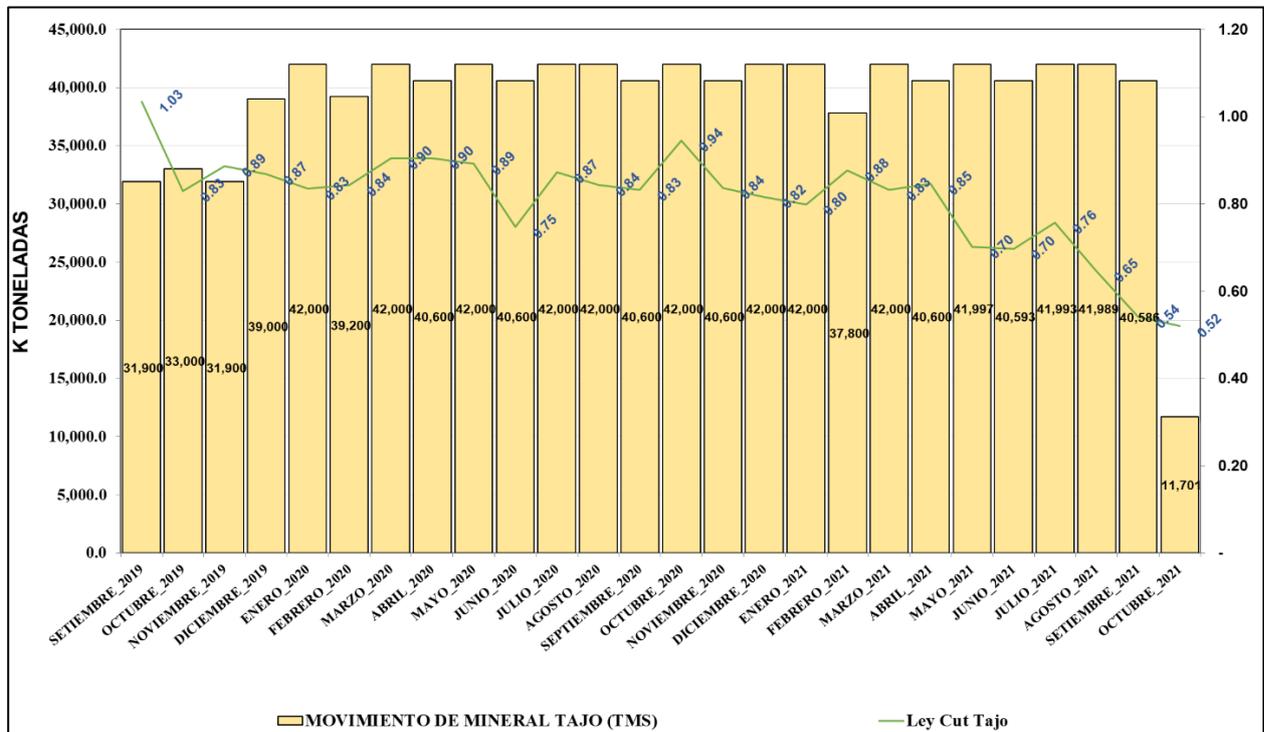
<b>PERIODO</b>	<b>MOVIMIENTO TOTAL (TMS)</b>	<b>MOVIMIENTO DIARIO (TMS)</b>	<b><i>STRIPING RATIO</i></b>
<b>Set-19</b>	160 007	5 334	4,33
<b>Oct-19</b>	170 018	5 484	4,65
<b>Nov-19</b>	150 023	5 001	2,69
<b>Dic-19</b>	150 023	4 839	3,84
<b>Ene-20</b>	150 001	4 839	3,38
<b>Feb-20</b>	100 020	3 449	1,61
<b>Mar-20</b>	100 158	3 231	1,34
<b>Abr-20</b>	60 027	2 001	0,59
<b>May-20</b>	94 576	3 051	1,59
<b>Jun-20</b>	60 026	2 001	0,57
<b>Jul-20</b>	60 004	1 936	0,41
<b>Ago-20</b>	60 008	1 936	0,44
<b>Set-20</b>	60 013	2 000	0,55
<b>Oct-20</b>	60 008	1 936	0,51
<b>Nov-20</b>	60 031	2 001	0,60
<b>Dic-20</b>	60 004	1 936	0,50
<b>Ene-21</b>	60 032	1 937	0,44
<b>Feb-21</b>	57 825	2 065	0,59
<b>Mar-21</b>	60 039	1 937	0,41
<b>Abr-21</b>	66 706	2 224	0,59
<b>May-21</b>	70 012	2 258	0,66
<b>Jun-21</b>	60 022	2 001	0,51
<b>Jul-21</b>	60 018	1 936	0,45
<b>Ago-21</b>	60 016	1 936	0,43
<b>Set-21</b>	54 085	1 803	0,38
<b>Oct-21</b>	54 794	1 768	0,40
<b>Nov-21</b>	35 000	1 167	0
<b>TOTAL</b>	<b>2 193 495</b>	<b>2 611</b>	<b>1,18</b>

El movimiento diario y general de mineral y desmonte se presentan en la tabla 10.

**Tabla 10.** Resumen de minado.

ACTIVIDAD	TOTAL (TMS)	LEY % DE COBRE
MINERAL PLANTA (TMS)	1 078 000	0,79
MOVIMIENTO DE MINERAL TAJO (TMS)	1 012 660	0,82
REMANEJO DE MINERAL Ley Media (TMS)	18 118	0,56
REMANEJO DE MINERAL Baja Ley (TMS)	47 222	0,51
MOVIMIENTO DE DESMONTE (TMS)	1 049 547	0,16
MOVIMIENTO A STOCK Ley Media (TMS)	18 118	0,56
MOVIMIENTO A STOCK Baja Ley (TMS)	47 830	0,51
<b>MOVIMIENTO TOTAL (TMS)</b>	<b>2 193 495</b>	
<b>MOVIMIENTO DIARIO (TMS)</b>	<b>2 611</b>	
<b>STRIPING RATIO</b>	<b>1,18</b>	

La distribución del minado mensual hasta el 2021 se presenta en la figura 8.



**Figura 8.** Distribución de movimiento de mineral por mes

La distribución de movimiento de mineral de tajo a *Stockpile* de mediana ley, Distribución de movimiento de mineral de tajo a *Stockpile* de baja ley se aprecian en la figura 9 y 10, así mismo en la figura 12 se aprecia la distribución de movimiento de material total por mes.

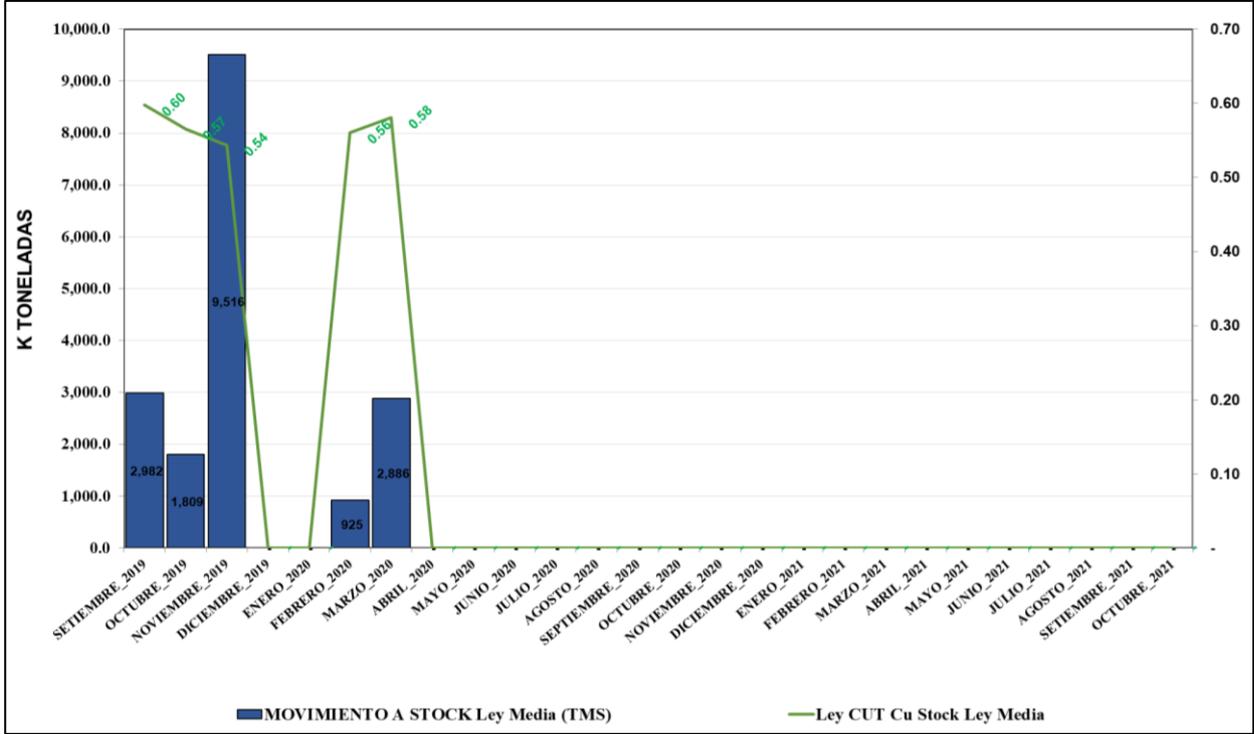


Figura 9. Distribución de movimiento de mineral de tajo a *stockpile* de mediana ley

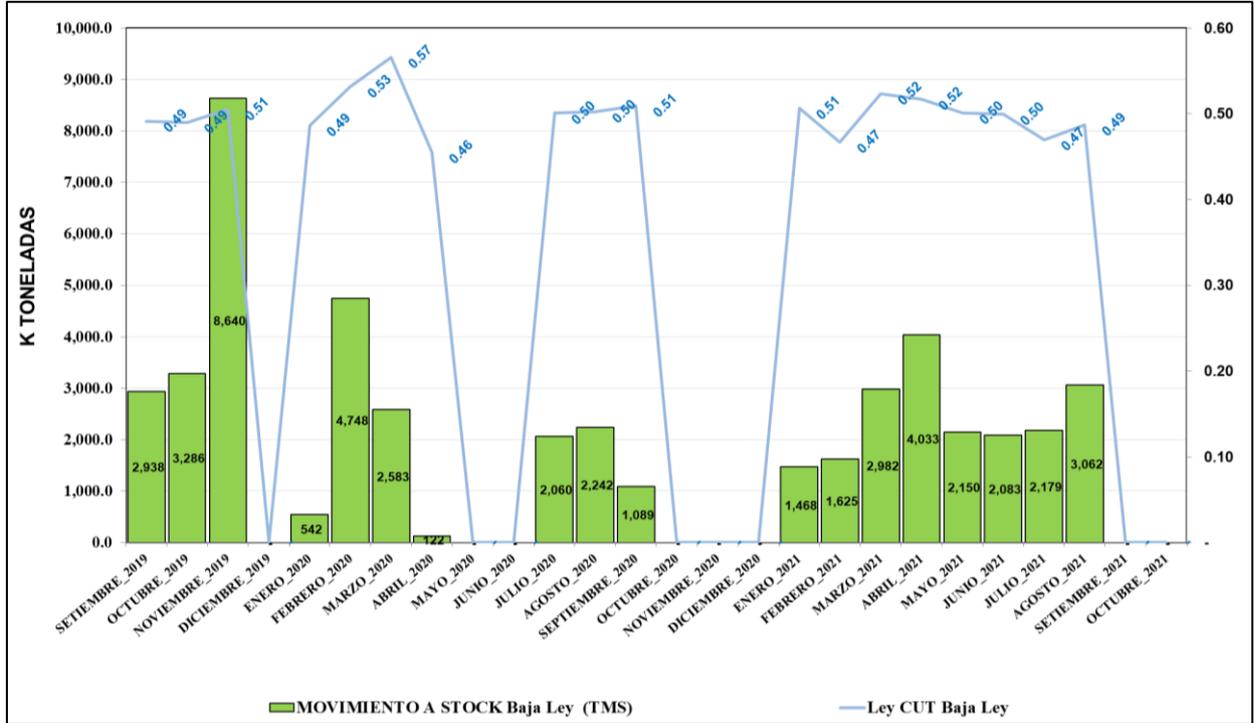


Figura 10. Distribución de movimiento de mineral de tajo a *stockpile* de baja ley

La figura 11, muestra el movimiento en toneladas de desmonte desde el tajo a depósitos de desmonte, desde septiembre del 2019 a octubre del 2021.

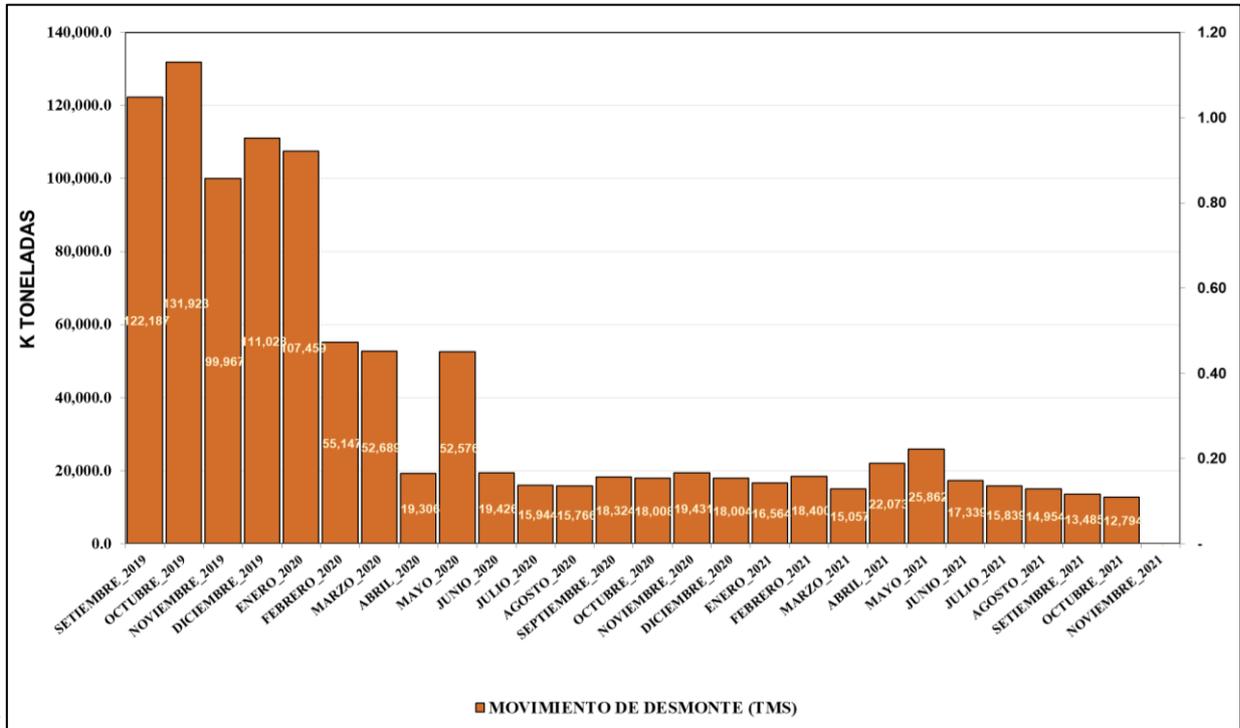


Figura 11. Distribución de movimiento de desmonte de tajo a depósitos de desmonte

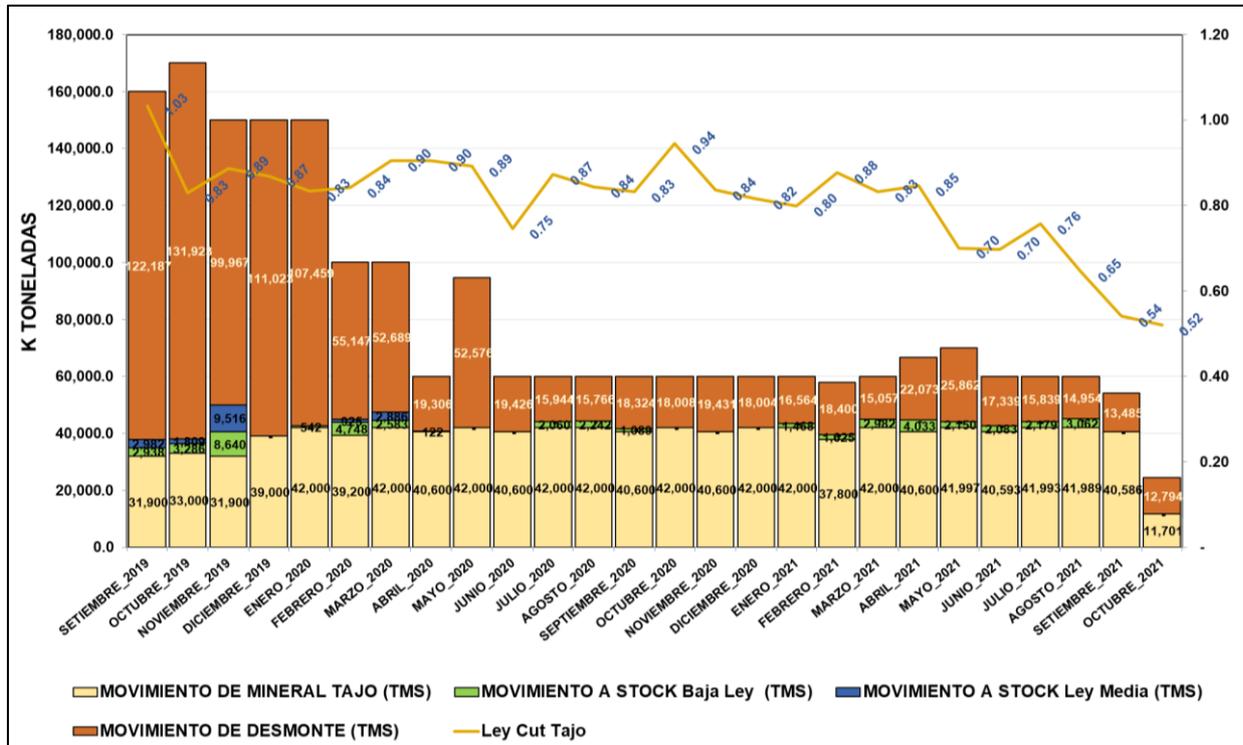


Figura 12. Distribución de movimiento de material total por mes

Según (Chara & Hanco, 2018) en su tesis titulado Optimización del NPV aplicando la temporalidad del modelo económico para incrementar el beneficio en compañía minera Antapaccay S.A. *Minesight Scheduler Optimizer* ordena las fases de cada periodo basado en el VPN del *pushbacks*, las fases de más alto VPN tienen la prioridad de ser minado primero. Este ordenamiento de las fases de acuerdo con el más alto VPN de la fase asegura que la secuencia de minado optimice el VPN del proyecto. Junto con el número de fases definidos que trabajan en un periodo, *Minesight Scheduler Optimizer* minará las fases con alto VPN y desbrozará a la próxima fase con el más alto VPN, esto reducirá el riesgo de desbroce de fases más alejadas o que tengan menor VPN en un previo análisis de fases o ranking de fases.

En la optimización del tajo Josemaría se realiza la secuencia en base a tres (3) sub-fases de minado, considerando el primero con mayor VPN de cada bloque correspondiente a la fase N°01. Esta secuencia hace que no haya el riesgo de minar menos de lo requerido por planta y también evita el minado excesivo de desmonte.

Según los antecedentes de investigación citado (Tello, 2017) en su tesis titulado Optimización Del Secuenciamiento Del Plan De Minado A Corto Plazo Con El *Software Minesight* En El Tajo Ferrobamba, Las Bambas - Apurímac 2017 se concluye que utilizar el software minero *MineSight*, en las diferentes etapas del planeamiento a corto, mediano y largo plazo, las actividades del proceso de producción mejoran con buenos resultados de producción para la obtención del Cu Fino respecto al mensual. Utilizando el principal modulo del *Minesight*, el *Interactive Planner* (IP), se puede desarrollar diferentes alternativas de corte de minado, para cada equipo, teniendo un resultado inmediato en cuanto a tonelajes y leyes de Cobre

Efectivamente el uso del *software Minesight* es una herramienta muy útil, facilitando el trabajo de elaboración del planeamiento a largo plazo de todo el ciclo de vida de la mina superficial e incluso subterráneo.

El *MineSight Schedule Optimizer* (MSSO) del *Minesight* es una aplicación que va reemplazando al *Interctive Planner* y haciéndose más conocido en el mundo de la Minería.

Según los antecedentes de investigación, citado (Abdollahisharif, Bakhtavar, & Anemangely, 2012) en su investigación *Optimal cut-off grade determinación based on variable capacities in open-pit mining* concluye que el la ley de corte determina el material que se enviará al depósito de desmonte y a la planta de procesamiento. Si el límite es alto, hay es un riesgo de que algún material económico sea considerado como desmonte. Por el contrario, si el grado de

corte es demasiado bajo, entonces algún material antieconómico será erróneamente definido como mineral.

Efectivamente la presente investigación se realiza en base al modelo geológico establecido y haciendo los controles QA/QC y validaciones de datos (efecto pepita). Teniendo estos datos la ley de corte es más confiable para la optimización y plan de minado de la U.M. Tacaza.

#### IV. CONCLUSIONES

El movimiento óptimo de mineral es de 1 012 660 TMS, desmonte es de 1 049 547 TMS equivalentes a 557 772 m<sup>3</sup>, el movimiento de mineral de tajo a *Stock pile's* de mediana y baja ley es de 18 118 TMS y 47 830 TMS respectivamente, se tiene el movimiento total de material 2 193 495 TMS.

Es muy importante revisar y analizar la información de base de datos a actualizar, ya que si utilizamos información errónea, esta podría repercutir de manera negativa en la confección del plan de minado a corto plazo, al tener una base de datos constantemente actualizada con información fresca del in situ de las operaciones mineras, hace de que el modelo de bloques de largo plazo sea modificado, en cuanto a leyes de cobre respecta y este nuevo modelo de bloques se convierte en el modelo de corto plazo

Mediante el uso del software MSSO *MineSight* se concluye que es una herramienta muy útil para realizar el secuenciamiento. En la investigación se determina los periodos de vida de la U.M. Tacaza en 26 meses de operación mina y 27 meses de producción Planta.

## REFERENCIAS

- Abdollahisharif, J., Bakhtavar, E., & Anemangely, M. (2012). Optimal cut-off grade determination based on variable capacities in open-pit mining. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, 112(4), pp. 1065–1069. [http://www.scielo.org.za/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2225-62532012001200015](http://www.scielo.org.za/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2225-62532012001200015)
- Alejano, L. (2010). Stability analyses of footwall slopes in open pit mining. *Dyna*, 77(161), pp. 61–70. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49615347006>
- Asad, M., & Topal, E. (2011). Net present value maximization model for optimum cut-off grade policy of open pit mining operations. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, 111(38), pp. 741–750.
- Chara, M. S. (2018). *Optimización del NPV aplicando la temporalidad del modelo economico para incrementar el beneficio en Compañía Minera Antapaccay S.A.* Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Arequipa. <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/7316>
- Franco, G., Gallo, A. F., Henao, C. C., & Corzoz, W. J. (2012). Implementacion de las herramientas de Minesight en la mina de carbon las Cuevas de Vale Colombia. *Dyna*, 1(176), pp.124–129. <http://www.bdigital.unal.edu.co/9740/>
- Goncalves, D. A. (2019). *The impact of haul road geometric parameters on open pit mine strip ratio*. 72(1), pp. 25–31. doi: 10.1590/0370-44672018720136
- Goodfellow, R., & Dimitrakopoulos, R. (2017). Simultaneous stochastic optimization of mining complexes and mineral value chains. *Mathematical Geosciences*, 49(3), pp. 341–360. doi: 10.1007/s11004-017-9680-3
- Hustrulid, W., Kuchta, M., & Martin, R. (2013). *Open pit mine, planning & design* (3ra ed.; C. Press, Ed.) [http://www.ghbook.ir/index.php?name=option=com\\_dbook&task=readonline&book\\_id=13650&page=73&chckhash=ED9C9491B4&Itemid=218&lang=fa&tmpl=component](http://www.ghbook.ir/index.php?name=option=com_dbook&task=readonline&book_id=13650&page=73&chckhash=ED9C9491B4&Itemid=218&lang=fa&tmpl=component)
- Kennedy, B. A. (2009). *Surface Mining* (2da ed.). Society for Mining, Metallurgy, and Exploration. [https://books.google.com.pe/books/about/Surface\\_Mining\\_Second\\_Edition.html?id=qJrYn pT2pYC&redir\\_esc=y](https://books.google.com.pe/books/about/Surface_Mining_Second_Edition.html?id=qJrYn pT2pYC&redir_esc=y)
- Pantoja, L. A. (2013). *El método de explotación tajo abierto y la productividad en Castrovirreyna Compañía Minera-U.P. San Genaro*, Univesidad Nacional del Centro del Perú, Huancavelica. <http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/UNCP/1332>
- Parra, A. F. (2015). *Planificación minera a cielo abierto utilizando fundamentos geomecánicos*. Universidad de Chile, Santiago de Chile. <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/136447>
- Tello, S. S. (2017). *Optimización del secuenciamiento del plan de minado a corto plazo con software Minesight en el tajo Ferrobamba, Las Bambas-Apurimacc 2017*, Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurimac, Apurimac. <http://repositorio.unamba.edu.pe/handle/UNAMBA/644>

Valencia, R. E. (2019). *Planeamiento de minado a corto plazo del mes de abril de 2013 en la Unidad Minera Arasi S.A.C. Proyecto Jesica, ubicado en el distrito de Ocuvi, provincia de Lampa en el departamento de Puno*, Universidad Nacional del Altiplano, Puno.  
<http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/11408>

Veloza, J., Jorge, M., & Humberto, M. (2006). Viabilidad de la extracción de carbón a cielo abierto. Caso Mina la Margarita. *Dyna*, 73(150), pp. 143–154.  
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49615012>