



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO DE PUNO

FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



“VIABILIDAD ECONÓMICA DE AMPLIACIÓN DE CAPACIDAD DE PLANTA CONCENTRADORA DE MINERALES DE 1,100 TMD A 1,400 TMD EN LA UNIDAD MINERA TACAZA – CIEMSA”

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

PRESENTADO POR:

Bach. ORLANDO RUDY LEON APAZA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO DE MINAS

PUNO – PERÚ

2019



DEDICATORIA

A Dios que me permite cumplir este objetivo, a mis padres Gustavo y Matilde que fueron quienes me apoyaron y me apoyan incondicionalmente, a mi hermano que siempre me apoya en cada paso que doy.

A Consorcio de Ingenieros Ejecutores Mineros S.A. (CIEMSA), por brindarme la oportunidad de desarrollarme profesionalmente.

Orlando Leon



AGRADECIMIENTOS

A mis mentores Ing. Juan Huanca Paricahua e Ing. Ludwing Chambilla Pacoticona, por haber confiado en mí y haberme guiado en mi formación profesional. A mi alma mater la Universidad Nacional del Altiplano y a los docentes de mi facultad por formarme profesionalmente.

Finalmente agradecer a todo el equipo de profesionales que forman parte de la unidad minera Tacaza, por brindarme su apoyo y continuar mi crecimiento profesional.

Orlando Leon



ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTOS	
ÍNDICE GENERAL	
ÍNDICE DE TABLAS	
ÍNDICE DE FIGURAS	
ÍNDICE DE ACRÓNIMOS	
RESUMEN	8
ABSTRACT.....	9
I. INTRODUCCIÓN.....	10
II. MATERIALES Y MÉTODOS.....	13
III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	18
IV. CONCLUSIONES.....	28
REFERENCIAS.....	29

ÁREA: Ingeniería de Minas

Línea: Diseño y Planeamiento en Minería.

FECHA DE SUSTENTACIÓN: Puno, 07 de diciembre de 2019



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Ubicación unidad minera Tacaza.....	13
Tabla 2. Comparación de costos unitarios 1,100 TMD VS 1,400 TMD	19
Tabla 3. Comparación de costo de inversión 1,100 TMD VS 1,400 TMD	19
Tabla 4. Resultados de las reservas para los casos evaluados.	21
Tabla 5. Resultados económicos para una capacidad de planta de 1,100 TMD.....	24
Tabla 6. Resultados económicos para una capacidad de planta de 1,400 TMD.....	25



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Flow sheet evaluación económica ampliación planta.	14
Figura 2. Histograma de frecuencia precio de Cu.	18
Figura 3. Leyes de corte crítica.....	20
Figura 4. Leyes de corte de stock pile.	20
Figura 5. Comparación de topografías finales proyectadas.	21
Figura 6. Sub-fases propuestas.	22
Figura 7. Programa de minado (LoM) para un ritmo de procesamiento de 1,100 TMD.	22
Figura 8. Programa de minado (LoM) para un ritmo de procesamiento de 1,400 TMD	23
Figura 9. Secuencia de minado, para un ritmo de procesamiento de 1,400 TMD.....	23



LISTA DE ACRÓNIMOS:

CIEMSA	: Consorcio Ingenieros Ejecutores Mineros Sociedad Anónima
U.M.	: Unidad Minera
UTM	: <i>Universal Transverse Mercator</i>
NPV	: <i>Net Present Value</i>
MS	: <i>Minesight</i>
MSSO	: <i>Minesight Scheduler Optimizer</i>
TMD	: Toneladas Métricas Día
VAN	: Valor Actual Neto
TIR	: Tasa Interna Retorno
VPN	: Valor Presente Neto
m.s.n.m.	: metros sobre nivel del mar
capex	: <i>capital expenditure</i>
opex	: <i>operating expenditure</i>
LoM	: <i>Life of Mine</i>
PEC	: Presupuesto Estratégico CIEMSA
IGV	: Ingreso General de Ventas
UEA	: Unidad Económica Administrativa



**Viabilidad económica de ampliación de capacidad de planta
concentradora de minerales de 1,100 TMD a 1,400 TMD en la unidad
minera Tacaza – CIEMSA**

***Economic feasibility of expanding the capacity of a mineral concentrator
plant from 1,100 TMD to 1,400 TMD in the Unidad Minera Tacaza –
CIEMSA***

Orlando Rudy, Leon Apaza

Facultad de Ingeniería de Minas-UNA- PUNO

orlandoleon114559@hotmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-1148-7251>

RESUMEN

Con el objetivo de analizar la viabilidad económica de la ampliación de la planta concentradora de 1,100 TMD a 1,400 TMD en la U.M. Tacaza, determinando los indicadores económicos VAN, TIR y *payback*, para así tomar la decisión de realizar la inversión y esto genere un mayor beneficio económico a la empresa. Se empleó una metodología que consiste en determinar los costos operativos y de inversión, a partir de costos históricos de la empresa, además se empleó la metodología tradicional de planificación de minas, empleado el *software Minesight* para la obtención del plan minero y se utilizó conocimientos de las ciencias económicas, que nos ayuda a determinar la viabilidad económica y financiera del proyecto. Como resultado se obtuvo un Valor Presente Neto de US\$ 7,532,520, un TIR 68 % y un *payback* de 6.02 meses, para el caso de ampliación a 1,400 TMD y para el caso de 1,100TMD un Valor Presente Neto de US\$ 6,642,830, un TIR 102 % y un *payback* de 4.25 meses, se obtiene un incremento en ganancias de US\$ 889,690, desde el punto de vista económico y financiero es favorable realizar la ampliación de la planta concentradora.

Palabras clave: Costos, evaluación económica, planificación



ABSTRACT

With the objective of analyzing the economic viability of the expansion of the concentrator plant from 1,100 TMD to 1,400 TMD in the U.M. Tacaza, determining the economic indicators VAN, TIR and payback, in order to make the decision to make the investment and this generates a greater economic benefit to the company. A methodology was used that consists in determining the operational and investment costs, based on historical costs of the company, in addition the traditional methodology of mine planning was used, the Minesight software was used to obtain the mining plan and knowledge of economic sciences, which helps us determine the economic and financial viability of the project. As a result, a Net Present Value of US \$ 7,532,520, an IRR 68 % and a payback of 6.02 months were obtained, in the case of extension A 1,400 MTD and in the case of 1,100 MTD a Net Present Value of US \$ 6,642,830, an IRR 102 % and a payback of 4.25 months, an increase in earnings of US \$ 889,690 is obtained, from the economic and financial point of view it is favorable to carry out the expansion of the concentrator plant.

Keywords: Cost, economic evaluation, planning.



I. INTRODUCCIÓN

La Unidad Minera Tacaza es una mina a cielo abierto, que explota minerales de cobre el cual es enviado a su planta concentradora, donde se hace el proceso de beneficio para la producción de concentrados *bulk* de cobre mediante el proceso de flotación, en la actualidad cuenta con una reserva estimada de 1,426,221 TM de mineral sulfuro de cobre con una ley media de 0.75 % Cu. Actualmente se procesa 1,100 TMD, con una ley de cabeza de 0.90 % Cu, debido al agotamiento de las leyes altas, a un mediano plazo no será posible mantener la ley de cabeza actual, otra limitante es la cantidad de reservas, que se estima su agotamiento en un periodo no mayor a 3 años, ante estas condiciones se plantea la ampliación de la planta concentradora a 1,400 TMD, para lo cual es necesario realizar el estudio de viabilidad económica y financiera, mediante los indicadores económicos de Valor Actual Neto (VAN), la Tasa Interna de Retorno (TIR) y el *payback*.

Bravo (2018), en su tesis de pregrado menciona la primera ampliación de planta concentradora de 570 TMD a 1,200 TMD, de la unidad minera Tacaza tenía 7,000,000 TM como reserva con una ley media de 1.44 % Cu, el cual es un factor muy importante ante la toma de decisión de realizar una inversión, pero viendo desde el punto de vista de ley, actualmente se tiene leyes menores a la ley de cabeza, por lo que es beneficioso en temas operativos ampliar y bajar la ley de cabeza.

Para la ampliación de la planta concentradora los circuitos a modificarse son los de chancado y molienda, así como menciona Almirón (2016) en su resumen de tesis de pregrado menciona que los circuitos a ampliar son los de chancado, molienda y flotación principalmente, para la planta concentradora Paragsha.

En la ampliación de planta concentradora Santa Lucia, se realizará cambios en el circuito de molienda donde se instalará un molino de bolas 5 ½' x 13' adicional en molienda primaria y un molino de bolas 6' x 6', en molienda secundaria. Para el circuito de flotación se instalarán dos celdas RCS (RCS N°2 y RCS N°3) y finalmente una celda tanque 14' x 14'.

Cundall, (2008) en su artículo, donde habla del financiamiento y la evaluación financiera de proyectos mineros, menciona que la forma adecuada de decidir si un proyecto debe ejecutarse, es la evaluación del retorno financiero. En el caso se está evaluando, si es conveniente realizar la ampliación de la capacidad de planta.



Para la evaluación económica del proyecto se debe evaluar en dos escenarios con y sin proyecto así como lo realiza Venegas (2009) en su tesis de pregrado, que evalúa la ampliación de producción de mina Condestable, desde el punto de vista económico y de riesgo.

Jimenez (2018) en su tesis de pregrado dice que previamente se evalúa primero los bloques y se determina cuando debe ser extraído para luego generar los flujos a lo largo de la vida de la mina, para esto se realizara el plan de minado para posteriormente realizar la evaluación económica.

Gonzales (2010) en su tesis de pregrado menciona los parámetros de programación son en base a los requerimientos anuales de producción consideraciones operacionales de la mina, precio de los metales, recuperaciones y costos son requeridas para determinar el máximo VPN de cada una de las programaciones de minado.

Según, Corrales (2007) “La evaluación de un proyecto desde el punto de vista global es tomar de la construcción de los ingresos y egresos (Flujo de Caja) del proyecto, los criterios de Valor actual neto, Tasa Interna de Retorno recuperación del periodo, etc., los cuales se convierten en índices de rentabilidad”

En efecto, para la evaluación se realizara con la técnica de flujo de caja descontado (NPV) y la tasa interna de retorno (TIR), que son los indicadores mas usados en evaluación de proyectos mineros, Topal, (2008)

Además, la evaluación económica compara el flujo de ingresos y gastos del proyecto, en base a los precios y costos del mercado, en términos constantes.

López (2017) “Los indicadores de rentabilidad de una posible inversión, nos permiten conocer a través del flujo de costos totales (incluida la inversión) y de ingresos totales, si la posible inversión que deseamos hacer se justifica o no previo análisis de estos flujos, donde es necesario conocer ciertas condiciones técnicas específicas que en último término nos dirá si es rentable o no nuestra posible inversión”

Percy (2016) dice que, para la evaluación técnica económica financiera, se determina el valor del mineral, mediante la valorización de concentrados, de plata, cobre, Pb y Zn, así como los costos de operación y producción, vida útil de la mina y los valores del VAN – TIR



Los indicadores de rentabilidad que se utilizarán en el presente trabajo de investigación son los siguientes:

- Valor actual neto (VAN)
- Tasa interna de retorno (TIR)

Altamirano (2011) dice que la ampliación de la planta concentradora de minerales Bertha permitirá incrementar la rentabilidad de la empresa, por lo tanto, tendrá un impacto económico favorable.

Para la evaluación de la ampliación de la planta de la unidad minera Tacaza, tiene un enfoque mayor al planeamiento de minado, para la generación de los flujos económicos, los autores citados dan mayor énfasis, a la infraestructura, resultados metalúrgicos y las operaciones del ciclo de minado y no muestra como esta ampliación afecta a la planificación, al variar los ritmos de producción y la ley de cabeza de mineral.

Esta evaluación nos permite además determinar si se podrá cumplir con el abastecimiento de mineral a la planta concentradora en el corto y mediano plazo y de vital importancia ante la toma de decisión de una empresa para invertir capital.

Se sugiere realizar una evaluación del impacto que genera el incremento de tratamiento en las operaciones unitarias de minado.

La presente investigación tiene como objetivo, determinar la viabilidad económica de la ampliación de la planta concentradora, evaluando los dos escenarios con ampliación y sin ampliación, teniendo como objetivos específicos:

- Establecer los indicadores (VAN)
- Establecer el *payback*

II. MATERIALES Y MÉTODOS

La unidad minera Tacaza está ubicada en el distrito de Santa Lucía, provincia de Lampa, departamento de Puno. La coordenada UTM. Corresponde al punto de línea base 5+00 del presente proyecto con una cota de 4,345 m.s.n.m. siendo las que se aprecia en la tabla 1.

Tabla 1. Ubicación unidad minera Tacaza.

Este	Norte	Elevación
314 600	8 272 100	4 300 msnm

Los principales materiales a emplearse son el *software Minesight* empleando los módulos MS OPIT para la optimización del *pit*, MS 3D para el diseño operativo del *pit*, *MS Reserve* para evaluar las reservas minerales y MSSO para realizar el secuenciamiento de minado empleando programación lineal y base de datos en Excel donde se pueda generar los flujos a partir del plan minero, la información serán proporcionados por el área de planeamiento mina y geología. Se tomarán datos históricos financieros para evaluar los flujos.

La metodología empleada consiste en determinar los costos de operativos (OPEX) y el costo de inversión (CAPEX) inicialmente, para luego determinar las leyes de corte con los costos unitarios para los dos casos en evaluación y así poder realizar el agentamiento de los bloques, empleando el *software Minesight*, iniciando desde la optimización del *pit*, hasta la generación de la vida de la mina o *Life of Mine* (LoM), para la generación de los flujos de caja en un periodo determinado y finalmente se empleara conocimientos de las ciencias económicas y mineras para determinar la viabilidad económica y financiera de la ampliación de planta siguiendo el *flow sheet* que se muestra en la figura 1. En el cual se muestra como es el proceso desde los datos de entrada o *inputs* y el proceso de planificación de largo plazo de un proyecto minero a largo plazo, obteniendo el plan de producción o plan minero, que es a partir del cual se conoce la cantidad de mineral y desmonte a producir, además de conocer las leyes con la que se mandara a tratamiento en planta y finalmente realizara la evaluación económica del plan

a partir de los flujos proyectados por el plan de minero para los dos casos en evaluación, los cuales son evaluados a una tasa de descuento de 0 %.

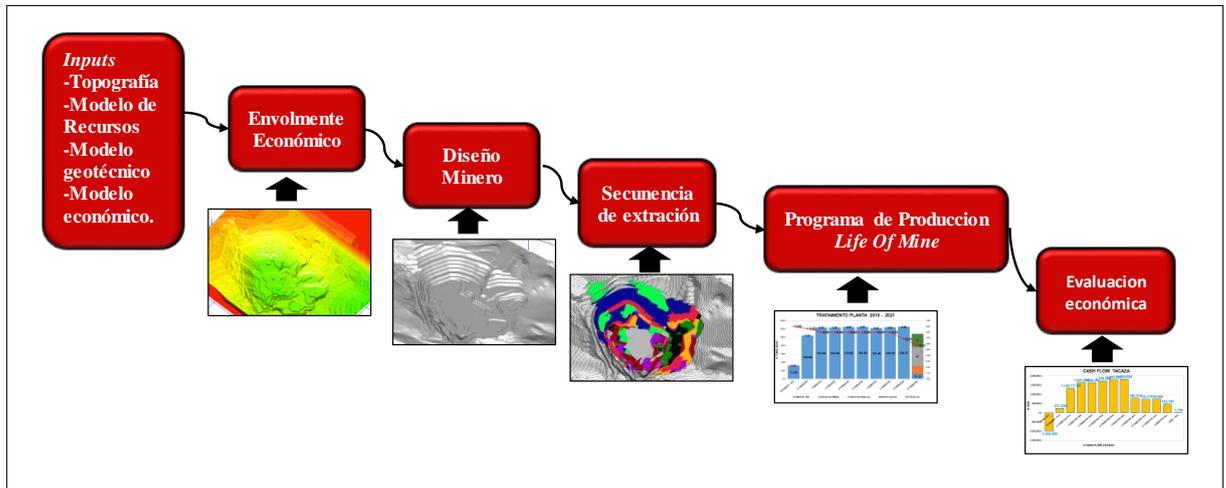


Figura 1. Flow sheet evaluación económica ampliación planta.

2.1. Precio del cobre

Se tomará la media de los precios históricos de los últimos 5 años, para determinar el precio del cobre.

$$\text{Media } (x) = \frac{\sum_j X_j \cdot f_j}{N}$$

Siendo X_j las observaciones distintas, f_j las frecuencias relativas y N el número total de datos.

2.2. Recuperación metalúrgica

Porcentaje de recuperación del metal valioso del mineral de cabeza.

$$R = \frac{C(F - T)}{F(C - T)} \times 100$$

Donde:

R: Recuperación metalúrgica.

C: Ley de concentrado.

F: Ley de cabeza.



T: Ley de relave.

2.3. Estimación de costos operativos (OPEX)

Para la estimación de los costos operativos se realizará en base a las platillas empleadas para la elaboración de los presupuestos mensuales, puesto que se trata de una mina que ya está en operación, será una metodología de estimación detallada.

2.4. Estimación de costos de capital (CAPEX)

En la industria se entiende por inversión la aplicación de fondos para la adquisición de los activos necesarios para poner en producción un proyecto.

Se tomará como base la información los requerimientos realizados por el área de mantenimiento y planta para la ampliación, además se tomará como base el presupuesto elaborado por la consultora CINCO, para el recrecimiento de relavera Tacaza, para así estimar el costo de inversión.

2.5. Leyes de corte

La ley de corte generalmente se define como la cantidad mínima de producto valioso o metal que debe contener una tonelada métrica (es decir, 1,000 kg) de material antes de este material se envíe a la planta de procesamiento.

Se trabajará con dos leyes: ley corte crítica y ley corte de Stock pile, lo cual nos permita poner las restricciones de destino al momento de realizar el secuenciamiento.

$$\text{Ley de Corte crítica} = \frac{(CM + CP)X100}{2204.62XRM/100(PRECIO - CV)}$$

$$\text{Ley de Corte Stock pile} = \frac{(CR)X100}{2204.62XRM/100(PRECIO - CV)}$$

Dónde:

CM : Costo de minado US\$/t

CP : Costo de proceso + costo administrativo US\$/TM mineral

RM : Recuperación metalúrgica.



PRECIO : Precio del Cu en US\$/lb

CV : Costo de venta en US\$/lb

CR : Costo de re manejo US\$/t

2.6. Pit final o envoltente final

Para la obtención del *pit* final se utiliza el MSOPIT, para realizar la optimización por el algoritmo de *Lerch and Grossman*, con los parámetros para los casos propuestos.

2.7. Secuencia de extracción

Para que se puede seleccionar una fase esta debe alimentar de mineral por lo menos 3 años, por lo que no se cumpliría este criterio, puesto que las reservas actuales no son suficientes para alcanzar este periodo para ninguno de los casos en evaluación, por lo que se realizar sub-fases operativas, esto nos permitirá tener un mejor control y secuenciamiento en el programa de producción.

2.8. Programa de producción (*Life of mine*)

Para la elaboración del plan de producción se empleará el módulo MSSO de *Minesight*, para optimizar la secuencia de minado a periodos mensuales y trimestrales, esto nos permitirá conocer el movimiento de mineral, desmonte, re manejo y mineral de baja ley a stock a un periodo determinado, mensual, trimestral o anual, lo cual nos permitirá saber la producción de planta las leyes de abastecimiento y el costo de movimiento de desmonte, para realizar la evaluación económica.

2.9. Evaluación económica

Para la evaluación económica se realizará en base a los siguientes indicadores económicos:

- El valor actual neto (VAN)
- Tasa interna de retorno (TIR)



➤ *Payback*

Cabe mencionar que la tasa de interés será 0, debido a que la inversión del proyecto en su totalidad es por parte de CIEMSA.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Precio del Cobre

El precio medio desde el año 2015 hasta agosto del 2019 es 2.71 US\$/Lb, como se aprecia en la figura 2.

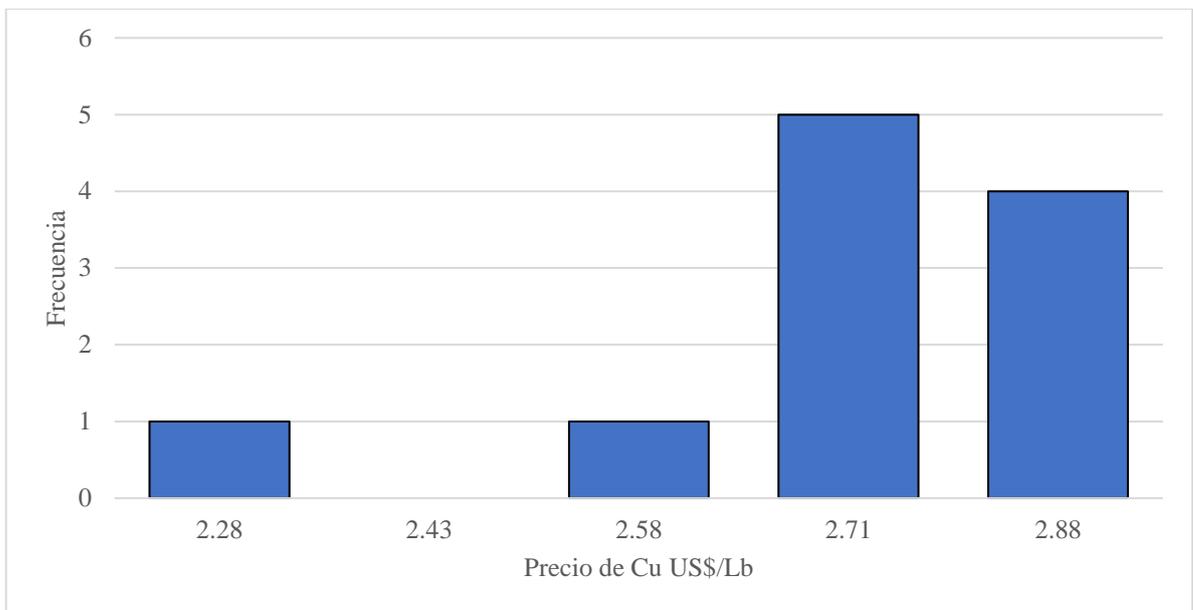


Figura 2. Histograma de frecuencia precio de Cu.

Fuente: Cochilco

3.2. Recuperación metalúrgica

Se tendrá una recuperación metalúrgica de 82.5 % para una ley de cabeza de 0.90 % Cu y una recuperación metalúrgica de 81.03 % para una ley de cabeza de 0.80 % Cu.

$$83.17 = \frac{33(0.90 - 0.155)}{0.90(33 - 0.155)} \times 100$$

$$81.03 = \frac{31(0.80 - 0.155)}{0.80(31 - 0.155)} \times 100$$

Cabe mencionar que estos resultados son teóricos y no son exactos y pueden tener variación, con la metalurgia dependiendo a la ley del mineral y los resultados históricos de la planta. Para la ampliación se considera un incremento en la capacidad, lo cual significa aumento de equipos y no contempla mejoras en los circuitos, por lo

que no solo se tendrá cambio en los parámetros de ley de cabeza y en la calidad de concentrando, que tiene relación directa con la ley de cabeza.

3.3. Costos operativos (OPEX)

Los costos fueron estimados tomando como base el Presupuesto Estratégico CIEMSA (PEC) 2019, en la tabla 2, se muestra la comparación de los costos estimados para los casos evaluados y se observa una disminución en el costo unitario de 15.13 %, debido a que los costos de proceso y administrativos se ven reducidos por el mayor tonelaje tratado.

Tabla 2. Comparación de costos unitarios 1,100 TMD VS 1,400 TMD

Costo Unitario	Unidad	1,100 TMSD	1,400 TMSD	Var %
Costo Mineral	US\$/t	2.76	2.76	0.00%
Costo de Desmonte	US\$/t	2.04	2.04	0.00%
Costo de Proceso	US\$/t ore	14.58	11.74	-19.51%
Gasto Administrativo y Financiero	US\$/t ore	2.22	1.79	-19.08%
Costo total	US\$/t	21.59	18.33	-15.13%

Fuente: Unidad Minera Tacaza-CIEMSA

3.4. Costo de inversión (CAPEX)

Se considera como inversión los costos de recrecimiento de relavera y ampliación planta como se muestra en la tabla 3.

Tabla 3. Comparación de costo de inversión 1,100 TMD VS 1,400 TMD

Costos de inversión	Unidad	1,100 TMSD	1,400 TMSD	Var %
Circuito de molienda	US\$	0.00	163,630	0.00%
Circuito de flotación	US\$	0.00	161,005	0.00%
Instalaciones eléctricas	US\$	0.00	159,566	0.00%
Relave	US\$	0.00	8,760	0.00%
Ampliación relavera	US\$	1,000,000	1,000,000	0.00%
Costo total	US\$	1,000,000	1,492,961	49.30%

Fuente: Unidad Minera Tacaza-CIEMSA

3.5. Leyes de Corte

Se calculó las leyes de corte para realizar el agendamiento de los bloques o secuencia de minado y así obtener el plan minero para los dos casos en evaluación, se obtuvo una ley corte crítica de 0.46 % Cu para el caso inicial de

1,100 TMD y una ley de corte 0.40 % Cu, para el caso de ampliación de 1,400 TMD como se aprecia en la figura 3, donde se muestra la ley del mineral vs el beneficio generado al explotar con dicha ley.

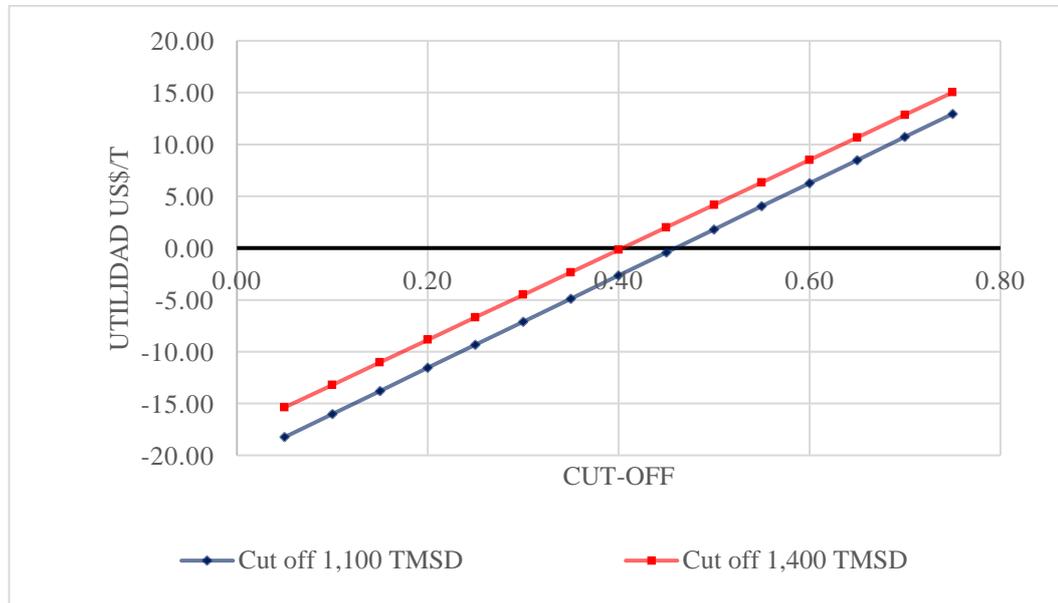


Figura 3. Leyes de corte crítica.

Las leyes de corte para *stock pile* son: 0.40 % Cu para, 1,100 TMD y una ley de corte 0.34 % Cu, para un tratamiento de mineral de 1,400 TMD como se aprecia en la figura 4.

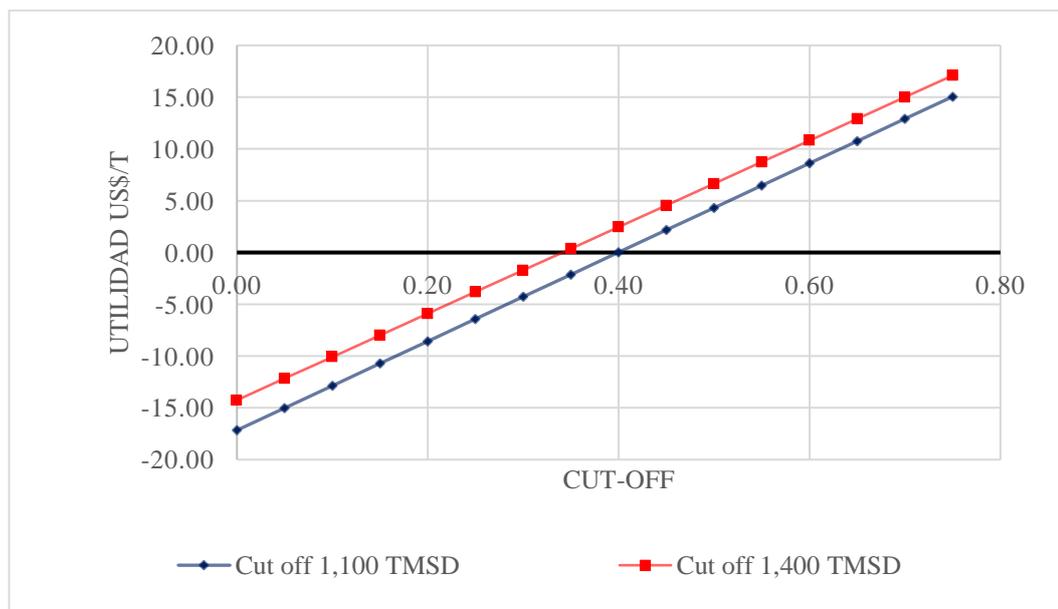


Figura 4. Leyes de corte de *stock pile*.

3.6.Pit final o envolvente final

Se tiene una ampliación en los límites de Tajo y un incremento en las reservas en 86,177 TM, pero una disminución en la ley media, como se aprecia en la figura 5, donde la topografía amarilla es la topografía final con la ampliación y la blanca es la topografía para el caso inicial, en la tabla 4, se muestra las reservas estimadas.

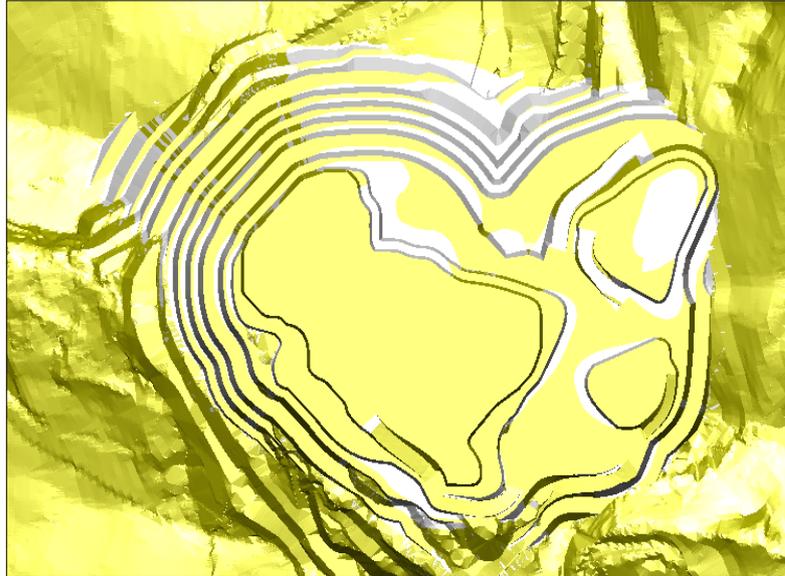


Figura 5. Comparación de topografías finales proyectadas.

Tabla 4. Resultados de las reservas para los casos evaluados.

Capacidad de planta	Reservas estimadas	
	tonelaje	Ley media % Cu
1,100 TMSD	1,426,221	0.75
1,400 TMSD	1,512,398	0.73

3.7. Secuencia de extracción

Para la generación de fases de minado deben cumplir ciertos criterios, que por un tema ya netamente operativo se genera 3 sub-fases, esto permitirá tener un mejor manejo con el ritmo de producción y las leyes de cobre.

A continuación, se muestra en la figura 6, las sub-fases, propuestas

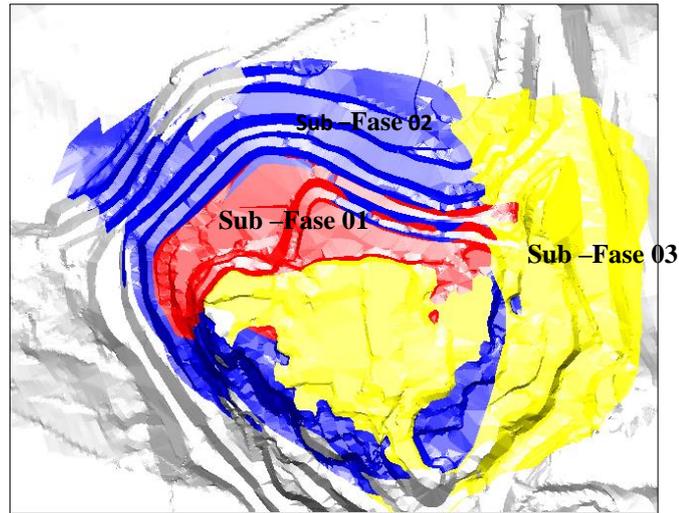


Figura 6. Sub-fases propuestas.

3.8. Programa de producción (*Life of Mine*)

Se realizó programas trimestrales para la elaboración del programa de producción los resultados obtenidos por el *software* MSSO, dieron un periodo de 33 meses para el caso de tratamiento de 1,100 TMD y 28 meses para el caso de 1,400 TMD, esto incluyendo el tratamiento de mineral reclamado de *stock pile*, de los resultados se aprecia que se tiene un mejor control de leyes en el caso de ley de cabeza de 1,400TMD y un menor movimiento de remanejo de mineral, tal como se puede apreciar en las figuras 7 y 8.

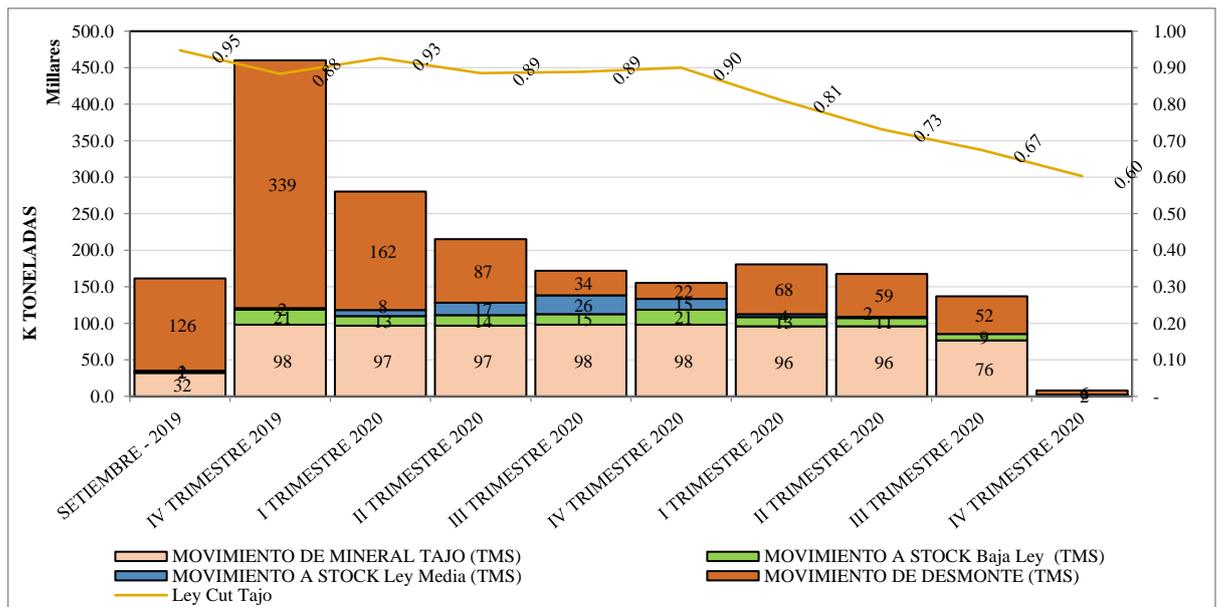


Figura 7. Programa de minado (LoM) para un ritmo de procesamiento de 1,100 TMD.

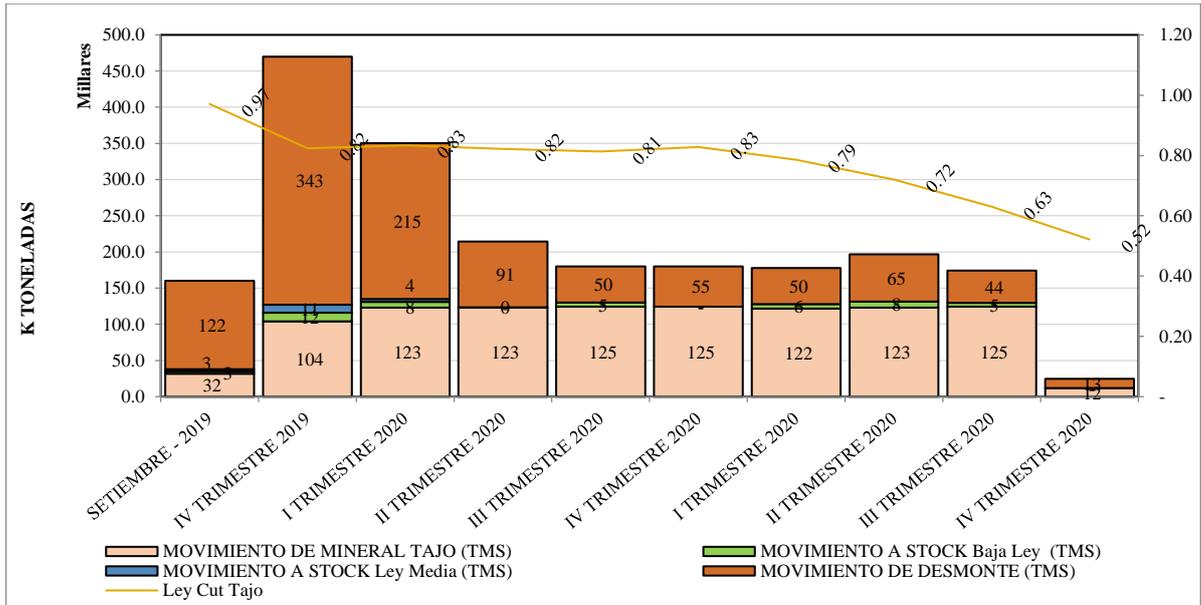


Figura 8. Programa de minado (LoM) para un ritmo de procesamiento de 1,400 TMD

A continuación, se muestra en la figura 9, el secuenciamiento operativo generado por el módulo MSSO, cada color indica el minado en un determinado periodo trimestral.

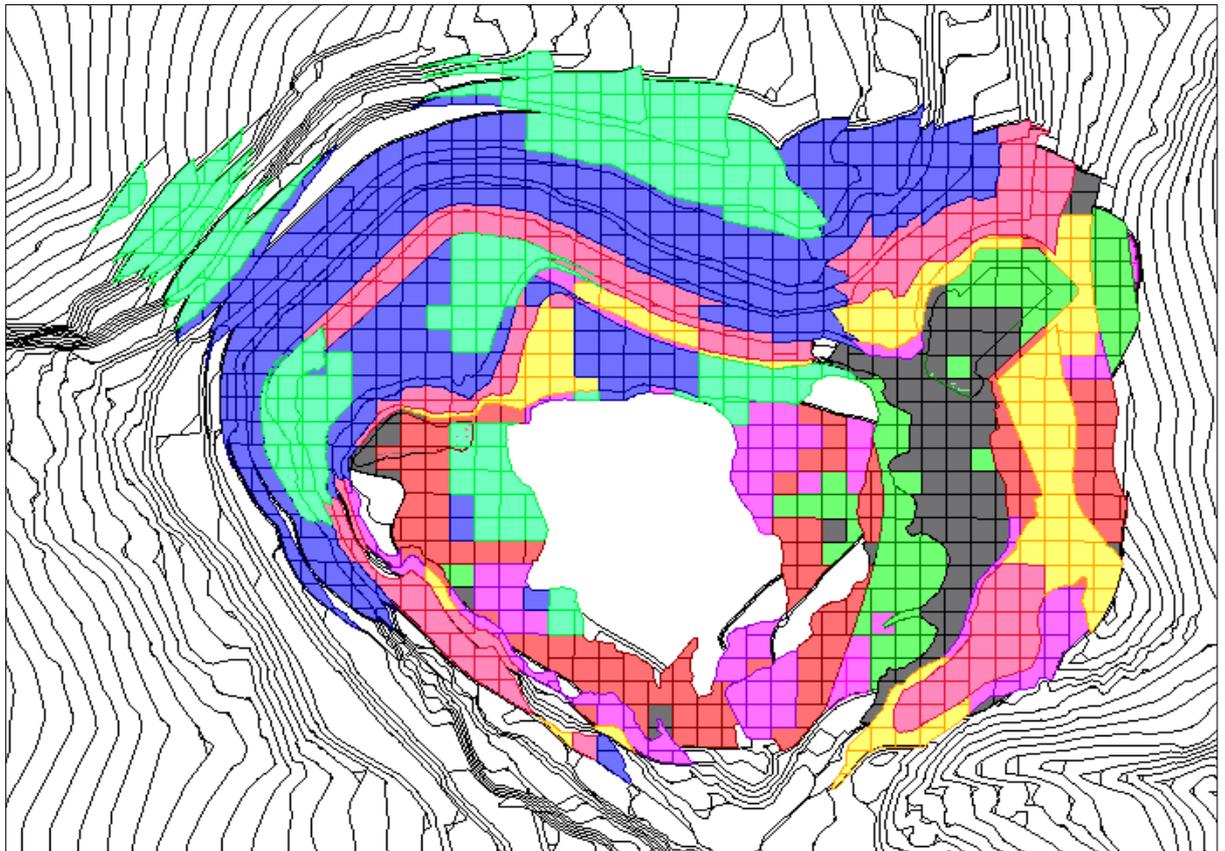


Figura 9. Secuencia de minado, para un ritmo de procesamiento de 1,400 TMD



3.9. Evaluación económica

Se proyecta los flujos de caja en base al LoM, 2019 elaborado, para los casos en evaluación, económica y financiera, se evalúa el Valor Presente Neto (VPN) a una tasa de 0 % y la Tasa Interna de Retorno (TIR). Para el flujo de egresos se toma los costos proyectados y la recuperación metalúrgica estimada para las dos leyes de cabeza propuestas, el precio base del cobre considerado en base a la media de los precios de los últimos 5 años. Se considera un 30 % de impuesto a la renta, 3 % regalías y un 18 % por conceptos de Ingreso General de Ventas (IGV). En las tablas 5 y 6 se aprecia los resultados económicos y financieros

Tabla 5. Resultados económicos para una capacidad de planta de 1,100 TMD.

TRATAMIENTO DE 1,100 TMD	
Ítem/periodo (meses)	33
Mineral (t)	1,013,994
Ley Cu (%)	0.80
Recuperación metalúrgica	0.81
Concentrado de Cu (t)	21,644
NSR Total (US\$/t)	1,549
Total ingresos (US\$)	33,533,105
OPEX Mina(US\$)	4,547,024
OPEX Planta(US\$)	14,416,202
Gastos Administrativos y financieros (US\$)	1,158,881
Beneficio operación (US\$)	13,410,998
Gastos de venta (US\$)	561,716
Depreciación (US\$)	527,098
Beneficios antes de impuestos (US\$)	12,322,184
Impuestos (US\$)	3,696,655
Regalías (US\$)	369,666
Participación laboral (US\$)	985,775
Beneficios después de impuestos (US\$)	7,270,089
Ampliación planta	
Ampliación relavera	
Flujo de caja (US\$)	6,642,830
Flujo de caja actualizado (US\$)	6,642,830



Impuesto %	30
Regalías %	3
Inversión (US\$)	1,000,000
Tasa de retorno %	0
VAN (US\$)	6,642,830
TIR %	102 %
Beneficio/ Costo	0.34
<i>Payback</i> meses	4.25

Se aprecia, que el van económico para el LoM, sin proyecto de ampliación es de US\$ 6,642,830 con un *payback* de 4.25 meses, debido a la inversión de recrecimiento de relavera.

Tabla 6. Resultados económicos para una capacidad de planta de 1,400 TMD.

TRATAMIENTO DE 1,400 TMD	
Ítem/periodo (meses)	28
Mineral (t)	1,108,891
Ley Cu (%)	0.77
Recuperación metalúrgica (%)	81.01
Concentrado de Cu (t)	22,746
NSR Total (US\$/t)	1,594
Total ingresos (US\$)	36,261,960
OPEX Mina(US\$)	4,899,373
OPEX Planta(US\$)	14,011,440
Gastos administrativos y financieros (US\$)	1,025,558
Beneficio operación (US\$)	16,325,589
Gastos de venta (US\$)	497,093
Depreciación (US\$)	466,458
Beneficios antes de impuestos (US\$)	15,362,037
Impuestos (US\$)	4,608,611
Regalías (US\$)	460,861
Participación laboral	1,228,963
Beneficios después de impuestos (US\$)	9,063,602
Ampliación planta	
Ampliación relavera	
Flujo de caja (US\$)	7,532,520



Flujo de caja actualizado (US\$)	7,532,520
Impuesto %	30
Regalías %	3
Inversión (US\$)	1,492,961
Tasa de retorno %	0
VAN (US\$)	7,532,520
TIR %	68 %
Beneficio/ Costo	0
<i>Payback</i> meses	6

Se aprecia, que el van económico para el LoM, con proyecto de ampliación es de US\$ 7,532,520 con un *payback* de 6 meses, incluyendo a la inversión de recrecimiento de relavera y compra de componentes para planta.

Según los antecedentes de investigación, citado

Venegas (2009) “La decisión de ampliación se sustenta en cuatro factores clave, los cuales son, en orden de importancia: costos adecuados, proyección de precio favorable, reservas suficientes y gerencia apta para llevar a cabo el cambio, experiencia de ampliaciones recientes”

En efecto los factores que menciona son fundamentales, menores costos unitarios permiten que el proyecto sea más rentable, si bien no se cuenta con una cantidad importante de reserva que nos permita tener un horizonte de vida por encima de los 3 años.

Almirón (2016) en sus conclusiones dice. Para cubrir los costos del proyecto de ampliación de la planta concentradora en equipos e infraestructura principal se ejecutarán inversiones por un monto de US\$ 3,205,479 y para el recrecimiento del depósito de relaves en su 6ta etapa se requerirá un monto de US\$ 10,327,277.61 haciendo un total de US\$ 13,532,756.61 en la inversión total del proyecto; los que serán cubiertos en forma parcial con un préstamo US\$ 9,202,274.50 a una tasa de interés anual Libor + 4.25 % anual de margen (pagaderos en 5 años) y los US\$ 4,330,482.11 restantes serán aporte propio proveniente del margen de utilidades generadas desde el presente año. La segunda opción alternativa consideraría que el financiamiento en su totalidad sea asumido por la UEA Cerro de Pasco sin préstamos de entidades bancarias.



Ante un incremento de capacidad de tratamiento de mineral, se tiene dos puntos importantes a evaluar, que son el costo de inversión por infraestructura y el costo de ampliación y/o construcción de relavera, debido a que se producirá mayor relave con el incremento de producción, en el caso de la planta de la unidad minera Tacaza el incremento es de 300 TMD, lo cual no es un incremento considerable, para el proyecto se estimó un costo por ampliación de planta de US\$ 492,961 y un estimado de US\$ 1,000,000 para el recremento de la relavera, con respecto a la tasa de descuento será 0, debido a que todo el capital será asumido por CIEMSA.

Terry, (2014) en su artículo donde habla de los incrementos de producción de plantas, enfatizado en el proceso, concluye que es esencial, ejecutar el proceso metalúrgico adecuadamente, para un desempeño financiero robusto de la nueva planta.

En efecto, si bien se está asumiendo la recuperación metalúrgica, así como los otros indicadores, se trata una planta de operación que tiene un largo historial de data y resultados metalúrgicos, por lo que se disminuye el riesgo en la variación de resultados de producción proyectados, por lo que los resultados económicos y financieros no tendrán mucha variación al ejecutarse.

Lava (2018) dice en sus conclusiones que bajaran los costos, debido a que se procesara mayor tonelaje con la misma cantidad de personal.

De la misma manera no se aumentará personal en planta u otra área por esta ampliación, por lo que los costos administrativos y de planta bajaran.

Bravo (2018) “Planear la vida de la mina, que depende directamente de las reservas y la secuencia de extracción que se realizara con referencia al tamaño de la planta; es de suma importancia ya que flexibilizara los costos y aumentara su rendimiento”

En efecto la planificación de mina depende de las reservas, al disminuir los costos unitarios por el incremento del tonelaje tratado, la ley de corte baja y esto permite que las reservas incrementen, para realizar la secuencia del minado, se puso como restricción el tratamiento de ambas capacidades y las leyes de cabeza diferentes.



IV. CONCLUSIONES

Se obtuvo los resultados financieros y se obtuvo un VAN US\$ 6,642,830 para el caso inicial sin proyecto y un VAN US\$ 7,532,520 lo cual significa, un incremento en el VAN US\$ 889,690, por lo que es viable realizar la ampliación de planta concentradora.

Se obtuvo un TIR 102 % para el caso inicial y el caso de ampliación un TIR 68 %, desde este punto de vista no sería rentable, debido a la mayor inversión necesaria para un retorno menor.

El *payback* es de 4.25 meses para el caso inicial y para el caso de ampliación el *payback* es de 6.02 meses, la diferencia en el tiempo es menor en 2 meses, lo cual es un tiempo corto y no hay mucho riesgo, por lo que se debe realizar la ampliación la planta concentradora.



REFERENCIAS

- Almirón-Alegre, C. A. (2016). *Estudio preliminar para la ampliación de 8 500 a 10 500 TMS día planta concentradora Paragsha - Unidad Económica Cerro de Pasco*. Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa.
<http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/5337>
- Altamirano-Oporto, J. C. (2011). *Estudio técnico económico para la ampliación de la planta concentradora de minerales bertha*. Universidad Nacional del Callao, Lima.
- Bravo-Quispe, A. (2018). *Ampliación de producción de 570 TMD a 1200 TMD de minerales mediante evaluación de operaciones unitarias y reservas minerales en la unidad minera Tacaza-CIEMSA*. Universidad Nacional del Altiplano, Puno.
<http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/7014>
- Corrales-Dueñas, P. (2007). *Proyecto de factibilidad de minado 2007-2014 de la cantera de yeso San Antonio - Tarma*. Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo. <http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/UNCP/3153>
- Cundall, P. (2008). *Mining Projects. Network, May*.
- Gonzales Paihua, T. (2010). *Diseño de minas a Tajo abierto*. Universidad Nacional de Ingeniería, Lima. <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/667>
- Jimenez-Soto, L. (2018). *Incremento de la producción elaborando un plan de minado en la cantera Josmar-empresa Mabeisa SAC-Ferreñape 2017*. Universidad Cesar Vallejo, Lima. <http://repositorio.ucv.edu.pe/handle/UCV/26653>
- Lava-Triviños, E. Y. (2018). *Ampliación de planta de beneficio minera Paraíso S.A.C. de 50 TMD a 250 TMD*. Universidad Nacional San Agustín, Arequipa.
<http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/7721>
- López-Quispe, A. M. (2017). *Viabilidad económica financiera de minado veta Chaparral del Yacimiento aurífero San Francisco, Golden River Resources S.A.C. - Arequipa*. Universidad Nacional del Altiplano, Puno.
<http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/7314>
- Percy-Soca, J. (2016). *Evaluación técnico económica para ampliar la producción de*



1500 TMD a 3000 TMD mina Yauricocha-Sociedad Minera Corona S.A.

Universidad Nacional San Cristobal de Huamanga.

<https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

Terry, M. (2014). PLANT RAMP-UP PROFILES AN UPDATE WITH EMPHASIS ON PROCESS DEVELOPMENT. *Canadian Institute of Mining, Metallurgy and Petroleum, 1*.

Topal, E. (2008). Evaluation of a mining project using Discounted Cash Flow analysis, Decision Tree analysis, Monte Carlo Simulation and Real Options using an example. *International Journal of Mining and Mineral Engineering, 1(1)*, 62–76.
<https://doi.org/10.1504/IJMME.2008.020457>

Venegas-Flores, P. (2009). *Ampliación de producción de Mina Condestable*.
Universidad Nacional de Ingeniería, Lima.
<http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/669>