

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



“INCIDENCIA DEL TRATAMIENTO DEL MINERAL DE BAJA LEY
BASADO EN LA TEORÍA DE OPCIONES REALES PARA
DETERMINAR MAYORES MÁRGENES DE GANANCIA BRUTA
ANUAL EN MINERA BATEAS.”

TESIS:

PRESENTADA POR:

Bach. PEDRO AGUSTIN VILAVILA HANCCO

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO DE MINAS

PUNO - PERÚ

2017



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

TESIS

INCIDENCIA DEL TRATAMIENTO DEL MINERAL DE BAJA LEY BASADO EN LA
TEORÍA DE OPCIONES REALES PARA DETERMINAR MAYORES MÁRGENES DE
GANANCIA BRUTA ANUAL EN MINERA BATEAS

PRESENTADA POR:

Bach. PEDRO AGUSTIN VILAVILA HANCCO

INGENIERO DE MINAS

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 27/11/2017

APROBADA POR EL JURADO REVISOR CONFORMADO POR:

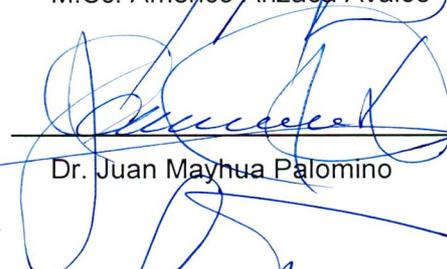
PRESIDENTE:


M.Sc. Mario Serafín Cuentas Alvarado

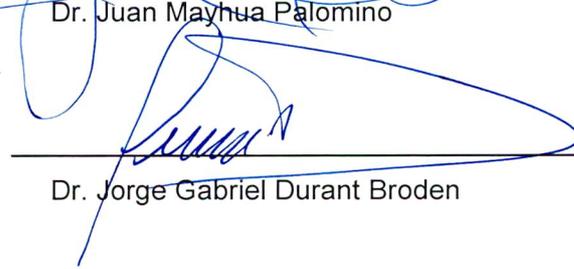
PRIMER MIEMBRO:


M.Sc. Américo Arizaca Avalos

SEGUNDO MIEMBRO:


Dr. Juan Mayhua Palomino

DIRECTOR / ASESOR:


Dr. Jorge Gabriel Durant Broden

Área : Ingeniería de Minas

Tema : Diseño y Planeamiento de Minado

DEDICATORIA

Con profundo amor y agradecimiento

Dedico esta tesis a mis padres:

Petrona Hanco Morocco y Pedro Vilavila Carcausto

Por el apoyo desmedido y constante en el transcurso de mi vida

A mi hijo Billy Thiago y mi Esposa

Diocela Fuentes

Por ser mi mayor motivación en mí desarrollo profesional

AGRADECIMIENTO

Agradezco principalmente a Dios por darme fuerzas y fé para creer en mí, por ser mi guía y compañía a lo largo de mi vida, culminar mi carrera, terminar la tesis y graduarme de Ingeniero.

A mis padres, Petrona Hanco y Pedro Vilavila por su gran apoyo incondicional, por creer en mí, por hacerme sentir que siempre están conmigo. Esto va dedicado principalmente a ustedes, porque sin ustedes nada de esto hubiera sido posible.

A mi Hijo Billy Thiago y Esposa Diocela, porque son mi mayor motivación en mi desarrollo profesional.

A mis hermanos que siempre me hicieron sentir uno de los hermanos más querido.

A mis profesores de la facultad de Ingeniería de Minas, Ing. Mario Serafín Cuentas Alvarado, Ing. Juan Mayhua Palomino e Ing. Américo Arizaca Avalos. Porque cada uno fue parte de mi desarrollo profesional en distintas áreas. Hago una mención especial a mi director de tesis, el Ingeniero Jorge Durant Broden, por su paciencia y aporte que contribuyeron en lograr una de mis metas trazadas.

Al Ing. Jose Torres Usca. Superintendente de planeamiento, Ingeniería y Proyectos de la empresa Minera Bateas, por su constante apoyo incondicional en la ejecución y culminación del presente trabajo de investigación.

A cada uno de mis amigos de la universidad que me acompañaron en este camino difícil pero no imposible, en cada amanecida de estudio, celebración o derrota. Por cada vez que me dieron ánimos, por cada vez que simplemente estuvieron ahí.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA.....	3
AGRADECIMIENTO	4
ÍNDICE DE FIGURAS	9
ÍNDICE DE TABLAS	10
ÍNDICE DE ACRÓNIMOS.....	13
RESUMEN	15
ABSTRACT	16
CAPÍTULO I.....	17
1 INTRODUCCIÓN	17
1.1 Descripción de la realidad del problema	17
1.2 Formulación del problema.....	19
1.2.1 Problema general	19
1.2.2 Problemas específicos	19
1.3 Justificación	19
1.4 Objetivos de la investigación.....	21
1.4.1 Objetivo general	21
1.4.2 Objetivos específicos.....	21
1.5 Delimitación del área de investigación.....	21
1.6 Antecedentes del proyecto.....	21
1.6.1 Ubicación y accesibilidad	21
1.6.2 Clima y vegetación	22
CAPÍTULO II	24
2 REVISIÓN DE LITERATURA.....	24

2.1	Antecedentes de la investigación.....	24
2.2	Bases teóricas	29
2.2.1	Recursos mineros.....	29
2.2.2	Reserva minera	31
2.2.3	Mineral de baja ley	34
2.2.4	Teoría de opciones reales	37
2.2.5	Volatilidad.....	52
2.3	Hipótesis de la investigación.....	71
2.3.1	Hipótesis general.....	71
2.3.2	Hipótesis específicas.....	71
CAPÍTULO III		72
3	MATERIALES Y MÉTODOS.....	72
3.1	Diseño metodológico.....	72
3.2	Revisión, recopilación y elaboración de información preliminar.....	74
3.3	Población y muestra.....	74
3.3.1	Población.....	74
3.3.2	Muestra	74
3.4	Variables	74
3.4.1	Variable dependiente.....	74
3.4.2	Variable independiente.....	75
3.4.3	Variable interviniente	75
3.5	Operacionalización de variables	75
3.6	Técnicas de recolección de datos.....	75
3.6.1	Técnica.....	75
3.6.2	Instrumento	76
3.6.3	Información de minerales de baja ley	76
3.6.4	Información de modelo de reservas a CP	77
3.6.5	Precio histórico de los <i>commodities</i>	77

3.6.6	Información del <i>becoff</i>	77
3.7	Materiales	78
CAPÍTULO IV		79
4	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	79
4.1	<i>Becoff</i> o costos totales Minera Bateas	79
4.1.1	Costo en mecanizado	80
4.1.2	Costo en semimecanizado	81
4.1.3	Costo en convencional.	82
4.2	Net Smelter Return (NSR) Minera Bateas	83
4.2.1	Valor punto	85
4.3	Recursos y reservas Minera Bateas	86
4.3.1	Recursos Minera Bateas	86
4.3.2	Reservas Minera Bateas	88
4.4	Mineral de baja ley en Minera Bateas.	89
4.4.1	Mineral acumulado en canchas.	89
4.4.2	Mineral de baja ley extraído del modelo de bloques.	91
4.4.3	Caso 01 tratamiento de mineral de baja ley Minera Bateas	93
4.4.4	Caso 02 variación del precio de los <i>commodities</i>	103
5	CONCLUSIONES	113
6	RECOMENDACIONES	114
7	REFERENCIAS	115
8	ANEXOS	119
ANEXO A		120
	Tabla A.1: Resumen de plan de tratamiento anual base 2017.	120
	Tabla A.2: Resumen de rotura de mineral de baja ley enero – abril 2017..	121
	Tabla A.3: Términos comerciales.	123

Tabla A.4: Resumen de precios de plata por meses	124
Tabla A.5: Resumen de precios de oro por meses.....	124
Tabla A.6: Resumen de precios de plomo por meses	125
Tabla A.7: Resumen de precios de zinc por meses	125
Tabla A.8: Hoja de registros de extracción de mineral de baja ley	126
Tabla A.9: Reporte diario de operación	127
Tabla A.10: Informe mensual de producción	127

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1:1 Ubicación Minera Bateas	23
Figura 2:1 Conversión de recursos a reservas.....	34
Figura 2:2 Recursos y reservas minerales – código JORC.....	34
Figura 2:3 Recursos totales y mineral de baja ley.....	35
Figura 2:4 Precios en los puntos de “shut down y break even”	36
Figura 2:5 La incertidumbre agrega valor	41
Figura 2:6 Flexibilidad contra incertidumbre	46
Figura 4:1 Mineral de baja ley extraído de tajos.....	91
Figura 4:2 Mineral de baja ley extraído de tajos y MB	92
Figura 4:3 Gráfica de MG vs NSR, Caso 01, b	98
Figura 4:4 Variación de utilidad vs NSR del Caso 01, c.....	101
Figura 4:5 Precio histórico anual de la plata	104
Figura 4:6 Precio histórico anual del oro.....	104
Figura 4:7 Precio histórico anual del plomo	105
Figura 4:8 Precio histórico anual del Zinc	105

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2:1 Resultados de tamaños óptimos utilizando teoría de opciones.....	25
Tabla 2:2 Resultados VPN con opciones reales	26
Tabla 2:3 Resultados del valor de las flexibilidades con opciones.....	27
Tabla 2:4 Resultado de evaluación del VPN con opciones.....	28
Tabla 2:5 Estadística básica serie histórica precios del cobre	63
Tabla 2:6 Resultados de evaluación con OP	64
Tabla 2:7. Casos de estudio de sensibilidad del precio del cobre.....	65
Tabla 2:8 Resultados de sensibilidad del precio del cobre (US\$)	65
Tabla 2:9 Caso de estudio sensibilidad volatilidad en el precio del cobre.....	65
Tabla 2:10 Resultados sensibilidad volatilidad en el precio del cobre.....	66
Tabla 2:11 Resultados de tamaño optimo.....	68
Tabla 2:12 Sensibilidad a precio inicial del cobre, VPN- C (En MUS\$).....	68
Tabla 2:13 Sensibilidad a precio inicial del cobre VPN – SF (En MUS\$).....	69
Tabla 2:14 Sensibilidad a precio inicial del cobre VPN - OP	69
Tabla 2:15 Resultados de opciones	71
Tabla 3:1 Operacionalización de variables	75
Tabla 4:1 Valor de becoff mecanizado breasting	80
Tabla 4:2 Valor de becoff mecanizado realce	80
Tabla 4:3 Valor de becoff semimecanizado realce.....	81
Tabla 4:4 Valor de becoff convencional realce.....	82
Tabla 4:5 Resumen del valor del becoff por tipo de explotación	83
Tabla 4:6 Valor punto para concentrado zinc y plomo.	85
Tabla 4:7 Valor punto para concentrado Ag y Au.....	86
Tabla 4:8 Recursos evaluados Minera Bateas – Junio 2016 en (TM).....	86

Tabla 4:9 Resumen de recursos excluidos	87
Tabla 4:10 Resumen reservas probadas y probables julio - 2016	88
Tabla 4:11 Break even becoff para mineral de baja ley	89
Tabla 4:12 Mineral de baja ley acumulado por meses	90
Tabla 4:13 Rotura de mineral de baja ley Noviembre 2016 – Abril 2017	93
Tabla 4:14 Plan anual de tratamiento 2017	94
Tabla 4:15 Valor de mineral del plan de tratamiento 2017	94
Tabla 4:16 Costos totales del plan de tratamiento 2017	95
Tabla 4:17 Plan alternativo Incluyendo mineral de baja ley	95
Tabla 4:18 Valor de mineral del plan incluido mineral de baja ley.....	96
Tabla 4:19 Costos totales del plan incluido mineral de baja ley	96
Tabla 4:20 Puntos de variación de MG vs NSR, Caso 01, b.....	97
Tabla 4:21 Plan de tratamiento vs ejecutado Enero – Abril 2017.....	98
Tabla 4:22 Plan forecast 2017	99
Tabla 4:23 Plan con leyes actuales, forecast y mineral de baja ley	99
Tabla 4:24 Valor de mineral del plan forecast y mineral de baja ley	99
Tabla 4:25 Costos totales del plan forecast y mineral de baja ley.....	100
Tabla 4:26 Puntos de variación de utilidad bruta vs NSR Caso 01, c.	100
Tabla 4:27 Resumen de márgenes de ganancia por casos	101
Tabla 4:28 Resumen del valor de la flexibilidad por casos	102
Tabla 4:29 Resumen estadístico del precio de los commodities.....	106
Tabla 4:30 Variación del precio de los commodities en base al plan anual ...	106
Tabla 4:31 Volatilidad del precio de los commodities en base al plan anual..	107
Tabla 4:32 Recuperación Metalúrgica del plan anual base.....	107
Tabla 4:33 Valores punto acorde a la volatilidad del plan anual base.....	108

Tabla 4:34 Resumen del valor NSR y VM con incertidumbre	109
Tabla 4:35 Margen de ganancia anual incluido incertidumbre	109
Tabla 4:36 Valor de incertidumbre del precio de los commodities	110

ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

ASNE	Animas Nor-Este
AS	Ánimas central
Becoff	Costos totales
CF	<i>Cut and Fill</i>
CRSM	Corte Relleno Semi Mecanizado
CRC	Corte Relleno Convencional
CP	Corto plazo
CAMP	<i>Capital asset pricing model</i>
E	Este
<i>Forecast</i>	Proyecciones con datos más cercanos y reales
GAL	Galería
KT	Kilotoneladas
LP	Largo plazo
LoM	<i>Life of mine</i>
MG	Margen de ganancia.
MB	Modelo de bloques
N	Norte
NE	Nor-Este
NW	Nor-Oeste
NSR	<i>Net Smelting Return</i>
OPEX	<i>Operating Expenditure</i>
S	Sur
SE	Sur-Este

SN	Sub nivel
SW	Sur-Oeste
TJ	Tajeo
VP	Valor Punto
VPN	Valor presente neto
VPN - OP	Valor presente neto con opciones
VPN - SF	Valor presente neto sin flexibilidades

RESUMEN

El objetivo primordial de todo negocio minero es generar las mayores utilidades posibles para los accionistas, bajo esta premisa en la presente tesis se desarrolló ambientes de flexibilidad, cambiando la ley de corte o *Becoff* al mineral de baja ley roturado y la incertidumbre del precio de los *commodities* basándose en la teoría de opciones. El objetivo de esta investigación consiste en generar mayores márgenes de ganancia bruta anual para la empresa Minera Bateas, mediante el empleo de la teoría de opciones reales. En la investigación se considera como plan base los datos del plan anual 2017 de Minera Bateas. El plan de tratamiento anual 2017 se formuló con 535,500 TM, Ag: 71 (g/TM), Au 0,17 (g/TM), Pb 2.73(%), Zn 3.86 (%) y en NSR de 124 US\$/TM. Se simularon 2 casos; el caso 01 se sub divide en 3, caso 01 a, caso 01 b y el caso 01 c; el caso 01 a representa el plan anual base, el caso 01 b, considera la inclusión del 8.7% de mineral de baja ley al plan de tratamiento anual, el cual da como resultado un margen de ganancia de 141,318 US\$ y el caso 01 c, considera la inclusión del 8.7% de mineral de baja ley al plan de tratamiento *forecast*, con tonelajes y leyes ejecutadas de enero – abril y proyecciones a diciembre, el cual da como resultado un margen de ganancia de 1, 202,347 US\$, donde las leyes ejecutadas en plomo y zinc en los primeros meses son superiores a las programadas, ambos márgenes de ganancia se calcularon respecto al plan. En el caso 02, se realizó un esquema de variación del precio de los *commodities*, en base a los valores considerados del plan. Los precios del plan son Ag: 19 US\$/oz, Au: 1140 US\$/oz, Pb: 2150 US\$/TM y Zn: 2300 US\$/TM; a una volatilidad anual máxima alcista en Ag, Au, Pb y Zn de 12%, 24%, 12% y 25% respectivamente dando como resultado 7,567,926 US\$ y a una volatilidad máxima bajista en Ag, Au, Pb y Zn de -24%, -8%, -18% y -8% respectivamente y como resultado -9,274,710 US\$, respecto al plan anual.

Palabras Clave: Mineral de baja ley, margen de ganancia, opciones reales, precio de *commodities*, Minera Bateas.

ABSTRACT

The main objective of all mining business is to generate the highest possible profits for shareholders, under this premise in this thesis was touched flexibility environments to change the cutoff-grade or Becoff to the low- grade ore blast and the uncertainty of the price of commodities based in the theory of options. The objective of this research is to generate higher annual gross profit margins for the mining company Bateas, through the use of the theory of real options. In the investigation the base plan is the data of the 2017 annual plan of Minera Bateas, the annual treatment plan 2017, was formulated with 535,500 t, Ag: 71 (g / t), Au 0.17 (g / TM), Pb 2.73 (%), Zn 3.86 (%) and 124 Net Smelter Return (NSR) in US\$ / TM. It was simulated by 2 cases, case 01 sub divided into 3, case 01 a, case 01 b and case 01 c; case 01 a represents the annual base plan, case 01 b, considers the inclusion of 8.7% of low-grade ore to the annual treatment plan, which results in a profit margin of US \$ 141,318 and the case 01 c , considers the inclusion of 8.7% of low grade ore to the forecast treatment plan, with tonnages and grades executed from January - April and projections to December, which results in a profit margin of 1, 202.347 US \$, where grades executed in lead and zinc in the first months are higher than those programmed, both profit margins were calculated with respect to the plan. In case 02, a scheme of variation in the price of commodities was made, based on the values considered in the plan. The plan prices are Ag: US \$ 19 / oz, Au: US \$ 1140 /oz, Pb: US \$ 2150 /TM and Zn: US \$ 2300 /TM; to a maximum bullish annual volatility in Ag, Au, Pb and Zn of 12%, 24%, 12% and 25%, respectively giving 7,567,926 US\$ and a maximum bearish volatility in Ag, Au, Pb and Zn of -24 %, -8%, - 18% and -8% respectively, resulting in -9,274,710 US \$, with respect to the annual plan.

Keywords: Low-grade ore, gain margin, Real options, Commodity prices and Bateas Mine.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 Descripción de la realidad del problema

La presente tesis está orientada a la Mina Bateas, la cual pertenece a la Compañía de Minas Fortuna *Silver Mines*, que es una mina subterránea con vetas cuya potencia varían de 0.2 – 20.0 m. La mina utiliza las 3 variantes del método *Cut and fill*, mecanizado, semimecanizado y convencional. Produciendo actualmente 1550 TM/día de mineral polimetálico, con leyes de, 71 g/TM Ag, 0,17 g/TM Au, 2.73 % Pb, 2.51% Zn. El *Net Smelter Return* (NSR) es de 124 US\$/TM.

Actualmente la producción de mineral de baja ley en Minera Bateas, es de 3900 t mensuales promedio con valores de NSR menores a 76 US\$/TM, obteniéndose esta producción de los tajos de explotación, galerías de exploración y galerías de desarrollo. El mineral de baja ley se acumula conforme pasen los meses, lo que demanda construir *stocks* adicionales.

En este punto, se enfoca al uso de opciones reales como un apoyo a la toma de decisiones en actividades mineras, basándose en los trabajos de (Zenteno, 1998; *Kettlun*, 1999; Espinoza, 2002). Todos ellos consideran la

flexibilidad relativa al uso de reservas marginales (cambiando la ley de corte) en algún momento durante la explotación de la mina. Cambiando así el enfoque para evaluar el proyecto, como si dichas reservas marginales se explotaran al final de la vida útil.

Cabe señalar, que la anterior es sólo una de las flexibilidades propias de los proyectos mineros. Esta consiste en adelantar la explotación del mineral de baja ley, mientras el precio de los metales se mantenga bajo un límite, a partir del cual se hace más rentable procesar el mineral de baja ley existente en laboreos mineros (roturado en conjunto con el mineral de leyes superiores), con costos de operación menores, dado que a este tipo de mineral sólo le resta el costo de tratamiento planta y transporte. La decisión de ejercer esta opción toma en cuenta el costo de oportunidad de no explotar el mineral de mayor ley, el que se hace menor cuando los precios son más bajos.

En los últimos años en Minera Bateas, ha explotado leyes de mineral por encima de lo programado, aprovechando el mineral de extracción mina y mineral de baja ley se realizó un plan de tratamiento óptimo que permitirá generar mayor rentabilidad a la empresa y también tener un stock de mineral de baja ley para que pueda ser procesado en el futuro, cuando los precios de los *commodities* mejoren. Sí se analiza el comportamiento en el tiempo del precio de la Ag, Au, Pb y Zn, se nota que tiene una tendencia al alza con algunas caídas y su posterior recuperación.

Para llevar a cabo este proyecto, se identificó el mineral de baja ley desde el modelo de bloques del yacimiento, destinándolo a ser acumulado de

acuerdo a sus leyes, para luego formular un plan de tratamiento que genere un mayor margen de ganancia a la empresa minera.

1.2 Formulación del problema

1.2.1 Problema general

- ¿Generará el empleo de la teoría de opciones reales mayores márgenes de ganancia bruta anual en la empresa Minera Bateas?

1.2.2 Problemas específicos

- ¿Incidirá el empleo de la teoría de opciones en el tratamiento del mineral de baja ley, para la generación de mayor margen de ganancia bruta anual?
- ¿Incidirá el empleo de la teoría de opciones tomando como incertidumbre el precio de los *commodities* en la generación de mayor margen de ganancia bruta anual?

1.3 Justificación

Actualmente los precios de los metales han bajado, lo que obliga a las empresas mineras a tomar una serie de decisiones y para continuar en operación, debiendo replantear los planes de minado anual viéndose obligados a explotar zonas de alta ley. Esta no es necesariamente la mejor opción tomando en cuenta el costo de oportunidad, el que se hace menor cuando los precios son bajos. De esta manera surge la idea de incorporar el mineral de baja ley roturado conjuntamente con el mineral de leyes superiores producto de las labores, principalmente en galerías de exploración, tajos de explotación y galerías de desarrollo. Esta es una flexibilidad de las operaciones mineras, pasado el tiempo los costos de operación pasan a ser costos hundidos o pasados, dado que a este tipo de mineral sólo se le resta los costos de

transporte de mina hasta la tolva de gruesos y el costo de procesamiento planta. En el caso de que los precios de los metales aumenten, éstas hasta podrían pasar a ser reservas mineras.

La flexibilidad del cambio del *Becoff* del mineral roturado se basa en el concepto de costos hundidos. En la evaluación de proyectos de inversión en muchos casos, especialmente cuando no se parte de cero, se presenta lo que se conocen como costos hundidos (en terminología inglesa *sunk costs*); se trata de costos que por haberse ya producido son irreversibles, no se pueden recuperar y por ello son irrelevantes en la toma de decisiones. Sí se los considera introduciéndolos en los cálculos, siempre conducen a una peor decisión.

Los resultados fueron positivos al momento de estimar la variación en los costos operativos. Puesto que al mineral de baja ley sólo se le carga el costo de transporte del *stock* a planta y el tratamiento, el cual asciende a 16.5 US\$/t; los demás costos pasan a ser costos hundidos o pasados. El *becoff* de extracción de mineral mina es de 76 US\$/TM, por ende hay una diferencia de 59.5 US\$/TM, esto indica que sí se procesa mayor cantidad de mineral de baja ley, los costos operativos serán menores. Para incorporar la variación del precio de los *commodities*, se consideraron escenarios alcistas y bajistas, el margen de ganancia aumenta puesto que existe una volatilidad de precios alcistas anual, el cual se calculó tomando en cuenta los precios históricos julio 2016 – junio 2017.

1.4 Objetivos de la investigación

1.4.1 Objetivo general

- Generar mayores márgenes de ganancia bruta anual para la empresa Minera Bateas, mediante el empleo de la teoría de opciones reales.

1.4.2 Objetivos específicos

- Determinar la incidencia de la teoría de opciones en el tratamiento de mineral de baja ley para la generación de mayor margen de ganancia bruta anual en Minera Bateas.
- Determinar la incidencia de la teoría de opciones tomando como incertidumbre el precio de los *commodities* en la generación de mayor margen de ganancia bruta anual en Minera Bateas

1.5 Delimitación del área de investigación

La zona de estudio está enmarcada entre las siguientes coordenadas UTM (8317650 N – 192584 E) a una altitud promedio de 4500 msnm. Estos datos son la propiedad del área del proyecto “incidencia del tratamiento del mineral de baja ley basado en la teoría de opciones reales para determinar mayores márgenes de ganancia bruta anual en Minera Bateas”.

1.6 Antecedentes del proyecto

1.6.1 Ubicación y accesibilidad

La UEA San Cristóbal se encuentra ubicada en el paraje de Huayllacho, distrito de Caylloma provincia de Caylloma y departamento de Arequipa con coordenadas UTM: Norte 8317650, Este 192584 y a una altitud entre 4500 y 50000 m.s.n.m.

Las vías de acceso al proyecto son a través de la carretera Panamericana Sur desde la ciudad de Lima.

Lima – Arequipa –1005 km. Carretera asfaltada

Arequipa – Caylloma Un tramo asfaltado y afirmado de 225 km.

Caylloma – Mina 14.5 km.

Se puede apreciar la ubicación del proyecto en la Figura 1:1.

1.6.2 Clima y vegetación

La zona se caracteriza por presentar un clima per-húmedo y frígido, es decir, con precipitaciones relativamente estacionales, la temperatura máxima y mínima es de 15°C y -10°C, respectivamente. Asimismo forma parte de la Cordillera de los Andes, presenta un clima frío y seco durante todo el año y con fuertes vientos entre los meses de agosto y setiembre, y con precipitaciones pluviales durante los meses de diciembre a marzo, además de granizadas que cubren toda el área de nieve.

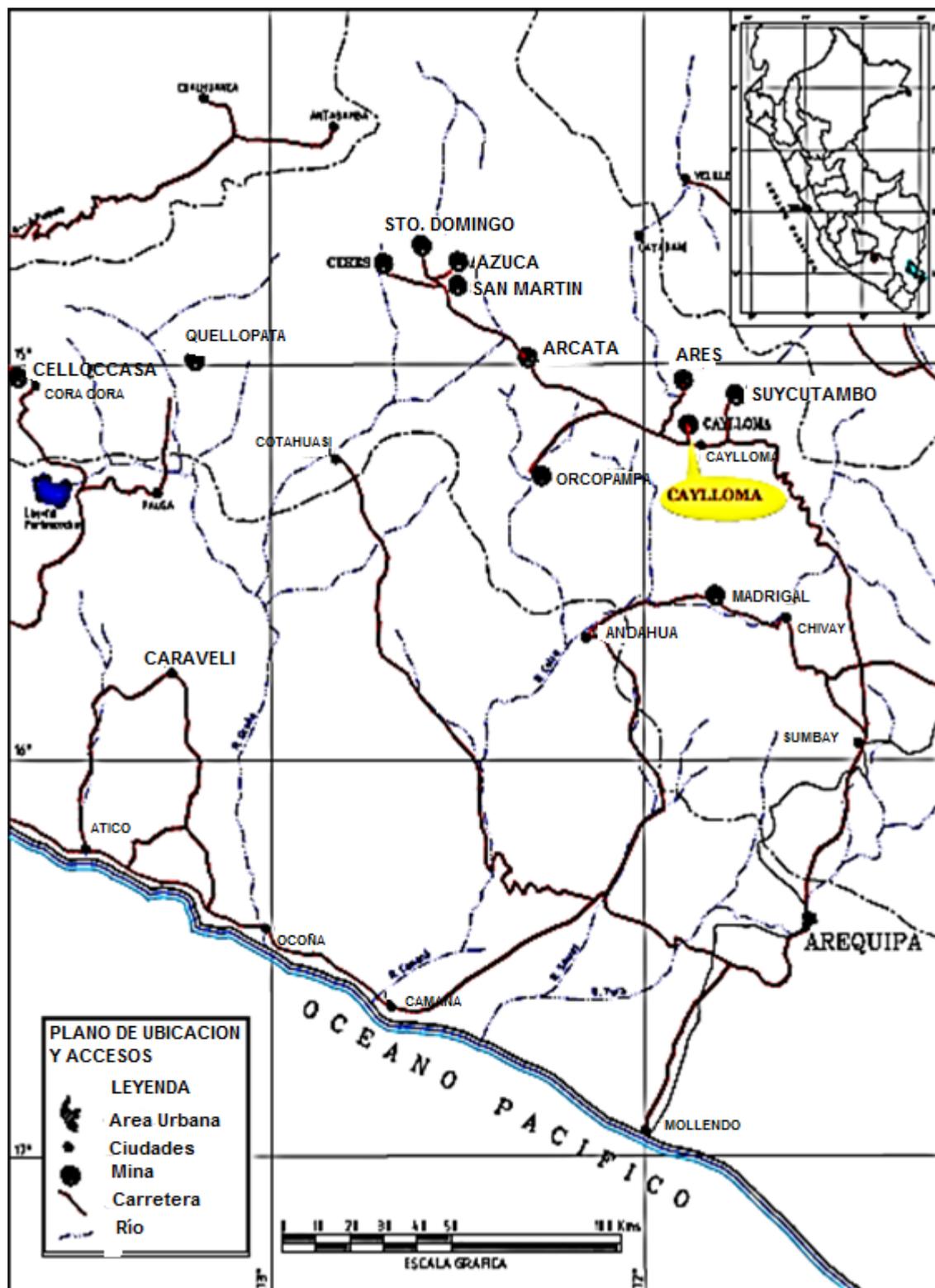


Figura 1:1 Ubicación Minera Bateas

Fuente: Departamento de Ingeniería y Planeamiento

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Antecedentes de la investigación

Zenteno, en su tesis titulada: “Definición del tamaño de producción para un proyecto minero utilizando teoría de opciones – aplicación y análisis a un caso real”. Para optar simultáneamente el grado de magister en ciencias de la ingeniería, mención industrial y al título profesional de Ingeniero Civil de Minas, de la Universidad de Chile. (Zenteno, 1998)

En la tesis mencionada utiliza la teoría de opciones para analizar el tamaño óptimo para un proyecto de Codelco. Se analizan cinco alternativas de tamaños de producción: 150, 200, 250, 300, y 350 KTCu/año. El tamaño óptimo se obtiene mediante la evaluación de las cinco alternativas utilizando teoría de opciones (VPN-OP), considerando que el único elemento que incorpora incertidumbre es el precio del cobre. El desarrollo del plan minero involucró la definición de un horizonte de 25 años de producción partiendo (como ya se ha dicho) por un tamaño de 150 KTCu/ año y llegando a un horizonte de 11 años cuando el tamaño es de 350 KTCu/año; para lo que se adoptó un modelo *lognormal*. Para las proyecciones se considera un valor inicial de 1.00 Cu,

(US\$/lb) con una tendencia anual del 2,5% creciente y una volatilidad anual del 20%.

Se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 2:1 Resultados de tamaños óptimos utilizando teoría de opciones

Tamaño (KTCu/año)	VPN (MUS\$)	VPN - SF (MUS\$)	VPN - OP (MUS\$)
150	1390	1965	2008
200	1563	2122	2160
250	1635	2221	2251
300	1646	2187	2210
350	1609	2133	2155

Fuente: (Zenteno, 1998)

Se aprecia en la Tabla 2:1 que el tamaño de producción óptimo es de 300 KTCu/año según el enfoque estático del VPN tradicional, sin embargo este de 250 KTCu/año según la simulación sin considerar flexibilidades y según la valoración con opciones reales. El resultado obtenido es consistente en el sentido de que la maximización del VPN se alcanza antes en la valoración con opciones, dado que los valores presentes son mayores debido al valor de las flexibilidades operacionales.

Se comprueba además, que el valor obtenido con opciones reales (VPN-OP), es siempre mayor que el valor de la simulación sin considerar flexibilidades (VPN-SF).

El análisis de sensibilidad respecto al precio, se realiza para los tres cálculos de VPN, para valores iniciales del precio del cobre variando entre 0,6 y 1,2 US\$/lb.

Contreras & Fernandez, en su artículo titulado una nueva metodología para la evaluación de proyectos de inversión: las opciones reales. Revista de Ingeniería de Sistemas, 17(1), 87-94. El cual se basa en las tesis realizadas en

el departamento de Ingeniería Industrial de la Universidad de Chile, tales como: (Zenteno, 1998; *Kettlun*, 1999; Espinoza, 2002), todos ellos consideran la flexibilidad de cambiar la ley de corte al mineral de canchas; el procedimiento consistió en considerar la incertidumbre del precio del cobre y la inclusión del mineral marginal al plan de tratamiento metalúrgico del LoM y evaluar con el VPN tradicional y VPN con opciones. Ver Tabla 2.2.

Tabla 2:2 Resultados VPN con opciones reales

VPN	276,323,300	(US\$)
VPN OP	282,909,100	(US\$)
Valor de flexibilidades	6,585,760	(US\$)
Producción base	40,000	TM
Producción Alternativa	14,000	TM
% de Reservas económicas utilizadas		96%
% de Reservas marginales utilizadas		4%

Fuente: (Contreras & Fernandez, 2003)

En la tabla 2.2 se observa que el proyecto cuprífero utiliza 4% de reservas marginales o minerales de baja ley. Asimismo el costo para extraer una libra de cobre es de: 39,34 (Centavos de dólar) y el costo de utilizar mineral marginal acopiado en canchas solamente es de: 18,5 (Centavos de dólar), donde se observa una diferencia de 20.84 (Centavos de dólar), cuando se incorporan las opciones reales. Obteniendo un valor presente neto con opciones reales (VPN - OP) superior en 6, 585,760 (US\$), el proyecto evaluado con el método tradicional (VPN). (Contreras & Fernandez, 2003)

Espinoza, en su memoria de Ingeniero Civil de Minas y Tesis de Magíster en Gestión y Dirección de Empresas del Departamento de Ingeniería Industrial de la Universidad de Chile. “Valor de la información y teoría de opciones en la evaluación de proyectos mineros”, menciona que para llegar al

valor de la flexibilidad (y por extensión de la opción incluida en ella), se opta por utilizar el método de (Jacoby & Laughton, 1987): un modelo de simulación de precio del cobre basado en un proceso de difusión de tipo browniano geométrico en torno a los valores esperados del precio, previamente ajustados por riesgo.

De los resultados obtenidos en el proceso de simulación condicional, sobre la base del caso más probable de las simulaciones, se diseñó un plan minero base y una estructura de costos afín a la aplicación computacional establecida por (Zenteno, 1998), luego se obtuvieron, valores para el VPN tradicional y el VPN-OP (con opciones reales). La inversión del proyecto minero es de US\$ 220,2 millones, los resultados de la sensibilidad de los precios del cobre (US\$); 0.7, 0.9, 1.0 y 1.2; Caso 1, 2, 3 y 4 respectivamente son los siguientes:

Tabla 2:3 Resultados del valor de las flexibilidades con opciones

Caso	VPN	VPN OP	Valor flexibilidad
1	100,333,900	112,431,600	12,097,700
2	221,339,500	229,342,000	8,002,500
3	276,323,300	282,909,100	6,585,800
4	402,542,000	406,916,200	4,374,200

Fuente: (Espinoza, 2002)

En la tabla 2.3 se observa que el VPN-OP incrementa respecto a VPN tradicional, considerando la incertidumbre del precio de los *commodities* como variable y por ende se obtiene una flexibilidad positiva.

Kettlun, en su trabajo Evaluación por simulación de un proyecto en la minería del cobre usando la teoría de opciones. Tesis para optar simultáneamente al grado de Magíster en Ciencias de la Ingeniería, mención Industrial, y al título de Ingeniero Civil Industrial. Departamento de Ingeniería

Industrial, Universidad de Chile. Explica que la flexibilidad operativa que se analiza es la modificación de las leyes de corte. En este caso el método de simulación utilizado es el de (Constantinides, 1978). Se utiliza el modelo de planificación de (Lane, 1988), el cual es un proceso iterativo de optimización intertemporal, que determina la estrategia o secuencia óptima de leyes de corte que maximiza el valor del proyecto.

Se calcula un VPN con simulación y ajustes a un mundo neutral al riesgo pero sin considerar las flexibilidades y un VPN por opciones incluyendo las flexibilidades. El proyecto se define para un horizonte de 10 años de operación a rajo abierto. Se considera un ritmo de extracción de 1,6 millones de toneladas al año de minerales oxidados, con una ley promedio de 1,5% de cobre.

Adopta un modelo *lognormal*. Para las proyecciones se considera un valor inicial de 1.00 (US\$/lb). La tendencia según el modelo de *Constantinides*, queda determinada directamente por la tasa ajustada por riesgo según CAPM. La volatilidad anual se encuentra entre 20% y 30%.

Los resultados son los siguientes: Se presenta el escenario de precio inicial de 1 US\$/lb (para el cual se diseña la planta) y otro de 0,7 US\$/lb, con volatilidades de 20% y 30%. Ver Tabla 2.4.

Tabla 2:4 Resultado de evaluación del VPN con opciones

Precio (US\$/lb)	Método de Evaluación	Volatilidad 20%	Volatilidad 30%
0.7	VPN sin flex.	31,384,092	---
0.7	VPN op. con flex.	33,372,785	---
1.0	VPN sin flex.	117,886,843	120,350,022
1.0	VPN op. con flex.	120,663,750	124,265,375

Fuente: (Kettlun, 1999)

Se comprueba que el VPN tradicional subestima en todos los casos el valor del proyecto. En el caso del VPN con opciones agrega valor al proyecto minero

Torres Usca, en su trabajo de: Tratamiento de mineral de baja ley. Proyecto, Jefatura de Planeamiento a Largo Plazo, Minera Bateas S.A.C.

En su proyecto tratamiento de mineral de baja ley de canchas incluye mineral marginal al plan de tratamiento anual obteniendo buenos resultados.

En su primera conclusión dice que a un mayor precio de los *commodities* tendremos un margen mayor de beneficio y a un precio menor tendremos un margen menor en pérdidas, esto hasta un límite de caída de precios. Cambiando la teoría de procesar mineral marginal para los últimos años de vida de la mina, con este método de evaluación de “opciones reales” se encuentra una relación entre mineral de alta ley y baja ley, para el tratamiento que maximiza las ganancias en la empresa minera. (Torres Usca, 2014)

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Recursos mineros

Es la concentración u ocurrencia de un material natural, sólido, inorgánico, u orgánico fosilizado terrestre de tal forma, cantidad, y calidad que existe una razonable apreciación acerca de su potencial técnico-económico. La localización, tonelajes, contenidos, características geológicas, y el grado de continuidad de la mineralización es estimada, conocida, o interpretada a partir de específicas evidencias geológicas, metalúrgicas, y tecnológicas (Vienne, 2014).

El término recurso minero cubre mineralizaciones y materiales naturales de interés económico intrínseco los cuales han sido identificados y estimados a

través de actividades de exploración, reconocimiento, y muestreo. De acuerdo al grado de confiabilidad existente, los recursos se clasifican en Medidos, Indicados, e Inferidos.

2.2.1.1 Recurso medido

Es aquella porción del recurso minero para el cual tonelaje, densidades, leyes, características geológicas, geometalúrgicas, y geotécnicas han sido estimadas y caracterizadas con un significativo nivel de confianza. Significativo, en este caso, explicita variaciones de esas características que resultan en una desviación máxima (por ejemplo, en el caso del cobre una desviación menor al 7% trimestral) en los contenidos de un plan minero a un nivel de confianza determinado (por ejemplo, 90%), (Vienne, 2014).

Esta categoría requiere un alto nivel de confianza en la interpretación geológica. La confianza en este tipo de recurso es la que permite la aplicación de conceptos técnicos y económicos para la evaluación de la viabilidad económica de esos recursos.

2.2.1.2 Recurso indicado

Es aquella porción del recurso minero para el cual tonelaje, densidades, leyes, características geológicas, geometalúrgicas, y geotécnicas han sido estimadas y caracterizadas con un razonable nivel de confianza. Razonable significa, en este caso, la apreciación equivalente que dos o más observadores independientes puedan otorgar a un parámetro de interés seleccionado utilizando la misma base de información (Vienne, 2014).

El mineral puede ser codificado como recurso indicado cuando la naturaleza, calidad, cantidad, y distribución de datos son las que permiten una adecuada interpretación geológica de modo que la continuidad y caracterización de la mineralización puede ser aceptablemente asumida.

2.2.1.3 Recurso inferido:

Es aquella porción del recurso minero para el cual las estimaciones de tonelaje y ley están afectas en exactitud y precisión debido a muestreos fragmentarios, limitados, y a percepciones asumidas sobre su continuidad geológica, y a extrapolaciones de carácter más bien subjetivo sobre la naturaleza de los controles de la mineralización.

La confiabilidad en la estimación de estos recursos es insuficiente para garantizar una aplicación significativa de parámetros técnicos y económicos asociados con ellos o para posibilitar una evaluación sobre su viabilidad económica a fin de informarla sustentada y públicamente, Debido a las incertidumbres asociadas con el recurso inferido no existe certeza de que todo este mineral o una porción de él se convierta en recurso indicado o medido como resultado de un reconocimiento adicional (Vienne, 2014).

La categorización de los recursos, por parte de las áreas de geología, se realiza ya sea en base a criterios geo estadísticos, relacionados con el número de muestras, alcance y radio de búsqueda o con la densidad de la malla de sondaje asociada a los bloques.

2.2.2 Reserva minera

Las reservas mineras está constituida por aquellas porciones que, después de aplicar parámetros y factores mineros, resultan en tonelajes y

contenidos los cuales, en opinión de la persona competente calificada pueden ser la base de un proyecto viable considerando factores técnicos, económicos, medioambientales, legales y gubernamentales relevantes, (Vienne, 2014). Es una porción de los recursos medidos e indicados económicamente extraíbles acorde a un escenario productivo, medioambiental, económico y financiero resultado de un plan minero.

Las reservas mineras se subcategorizan en reservas probadas y probables en las que la primera posee un mayor grado de confianza que las segunda.

2.2.2.1 Reserva probada

Es aquella porción del recurso medido económicamente extraíble. Esta reserva incluye material diluyente y pérdidas de tonelaje que pueden ocurrir a consecuencia de la extracción minera. La definición de reserva probada se basa en estudios de factibilidad incorporando parámetros mineros, metalúrgicos, tecnológicos, económicos, comerciales, legales, medioambientales, y otros factores regulatorios gubernamentales que pudieran eventualmente existir. La categorización de la reserva minera está determinada primariamente por la clasificación correspondiente al recurso minero y debe ser hecha por la persona competente calificada (Vienne, 2014).

El recurso indicado debe convertirse primero en reserva probable. Tan sólo cuando ese recurso es convertido en recurso medido, éste puede ser convertido en reserva probada. El paso directo del recurso Indicado a reserva probada no está permitido. El recurso medido puede dar origen a reserva probada o reserva probable.

2.2.2.2 Reserva probable

Es aquella porción del recurso indicado así como eventualmente del recurso medido económicamente extraíble. Esta reserva incluye material diluyente y pérdidas de tonelaje que pueden ocurrir a consecuencia de la extracción minera.

La definición de la reserva probable se basa en evaluaciones las que pueden incluir estudios de factibilidad incorporando parámetros mineros, metalúrgicos, tecnológicos, económicos, comerciales, legales, medioambientales, y otros factores gubernamentales. Estas evaluaciones y proyecciones demuestran, al momento en que ellas se informan, que la extracción está razonablemente justificada.

Conforme al código, estas fases incluyen el prospecto de exploración el cual da origen a la Idea, el estudio de diagnóstico el que da origen a la Ingeniería de perfil y el estudio de prefactibilidad el que da origen a la Ingeniería conceptual. El estudio de factibilidad cierra el proceso de conversión y constituye la base de la bancabilidad de esos activos mineros (Vienne, 2014).

La reserva probable tiene un menor nivel de confianza que la reserva probada.

Ver Figura 2.1 y 2.2.

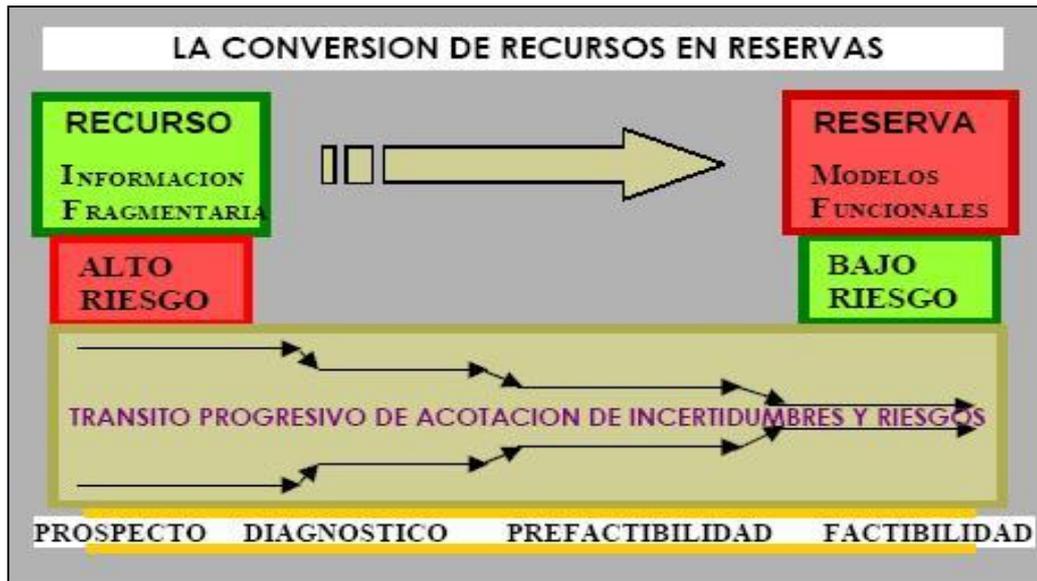


Figura 2:1 Conversión de recursos a reservas
Fuente: (Instituto de ingenieros de minas de Chile, 2003)

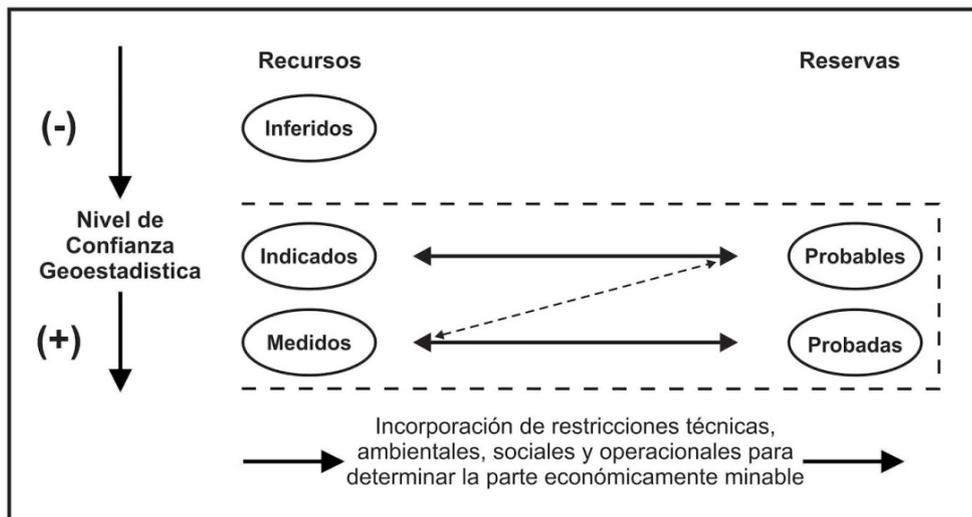


Figura 2:2 Recursos y reservas minerales – código JORC
Fuente: (El Código JORC, 1999)

2.2.3 Mineral de baja ley

Se considera mineral de baja ley al recurso diluido cuyo valor está por debajo del valor del *Becoff* (Cubre los costos totales), este valor depende del tipo de explotación. Ver Figura 2.3.

Este mineral de baja ley se encuentra intermedio en los tajos económicos por lo cual su rotura es necesaria para poder acceder a las zonas económicas, por

eso el costo de rotura, sostenimiento y otros se tienen que asumir de todas maneras.

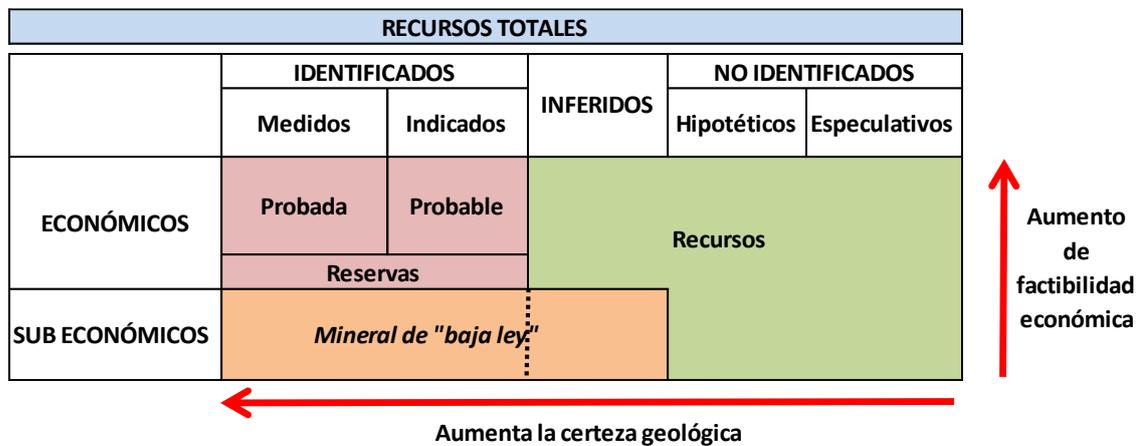


Figura 2:3 Recursos totales y mineral de baja ley
 Fuente: Adecuación de (Instituto de ingenieros de minas de Chile, 2003)

2.2.3.1 Becoff

En la actualidad hay dos criterios para calcular reservas mineras y realizar planes mineros, estos son por la ley de corte y por el costo de corte por tonelada o máximo beneficio. Al costo de corte por tonelada extraída en Minera Bateas se le llama *Becoff*. Este cubre los costos totales.

Los costos son uno de los parámetros más importantes para el negocio minero, de éste depende la variación de generación de utilidades. Una empresa minera se vuelve más rentable si mantiene sus costos controlados y trata de minimizarlos. Definimos el término de *becoff* al costo total, ésta incluye el costo de transporte y venta de concentrados.

Según la figura, 2:4, podemos identificar dos precios de los metales *shut down* y *break even*.

El precio del *break even* es el que cubre los costos totales. Para el análisis que realizaremos el valor del mineral debe de cubrir el costo total o *becoff* para poder ser considerado como reserva extraíble (Figura 2.4).

Entonces, hablaremos del punto de *break even* donde el valor del mineral es igual al costo total de extraerlo.

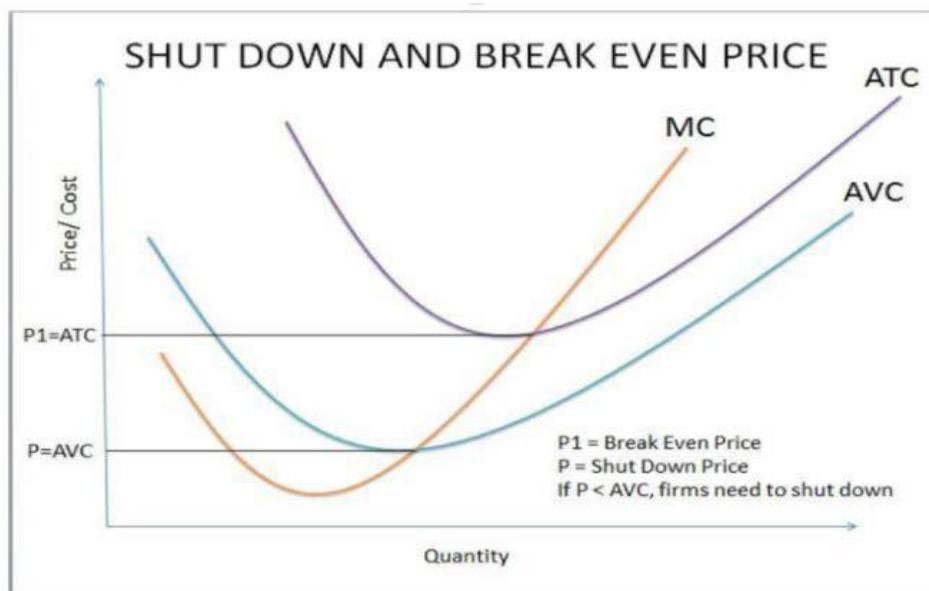


Figura 2:4 Precios en los puntos de "shut down y break even"
Fuente: *Natural Resource Economics*: (Packey, 2014)

Donde:

MC: Costo marginal

ATC: Costo total promedio

AVC: Costo variable promedio

El precio en el *shut down* es el cual sólo cubre los costos variables, para el corto plazo la empresa podría seguir en operación pero al largo plazo cerraría.

Cada negocio, para tomar decisiones de negocios importantes, necesita conocer cuál es su costo de producción. Hay una amplia variedad de formas para presentar y aplicar los costos, y algunos conceptos de costo son más apropiados para cierto tipo de problemas que otros. En esta sección se introducen algunos de los conceptos de costo más importantes, incluyendo:

- Costos fijos
- Costos hundidos
- Costos recuperables
- Costos de oportunidad
- Costos variables
- Costos operativos
- Externalidades

Todo negocio incurre en costos que no varían con la producción, así como también de costos que si lo hacen. Un costo fijo es un gasto que no varía con el nivel de producción. Los pagos anuales para mantener un denunció minero (asumiendo que los pagos son independientes de la producción) es otro ejemplo de un costo fijo. El costo de construcción de una línea de alto voltaje hacia una mina es otro costo fijo.

La porción de un costo fijo que no es recuperable son los costos hundidos. Los costos hundidos no deben afectar las decisiones subsecuentes ya que son gastos efectuados en el pasado que son irrecuperables. En la preparación de un flujo de caja minero los costos hundidos son excluidos.

2.2.4 Teoría de opciones reales

2.2.4.1 Introducción a las opciones reales

El método de opciones reales es la ampliación de la teoría de opciones financieras a las opciones sobre activos reales (no financieros). Mientras que las opciones financieras se detallan en el contrato, las opciones reales objeto de las inversiones estratégicas deben ser identificadas y especificadas (Amram & Kulatilaka, 1999). Ejemplos de empleo de opciones reales son la explotación de minas, pozos petroleros, los contratos de arriendo, la determinación del

ingreso de un nuevo producto, la inversión en investigación y desarrollo, entre otros.

Este nuevo método de evaluación de proyectos ha subsanado las falencias que presentan los métodos de valoración tradicionales (VPN y TIR). En efecto, aquellos proyectos que involucran algún grado de flexibilidad e incertidumbre futura, no pueden ser evaluados correctamente con las técnicas tradicionales (VPN y TIR). La regla del VPN es óptima cuando el proyecto de inversión es completamente reversible o positivo.

En la práctica, sin embargo, pocas inversiones son del tipo “ahora o nunca”. No sólo porque los inversionistas tienen el derecho a decidir si invertir o no, sino porque además tienen el derecho a decidir cuándo hacerlo en un nuevo proyecto. Este segundo derecho, por lo tanto, es una opción a retrasar la inversión y es una alternativa real, a diferencia de una alternativa financiera (americana) (Contreras & Fernandez, 2003).

La metodología de las opciones reales no se limita únicamente a determinar el momento óptimo de invertir, además permite cuantificar la flexibilidad de adaptar el proceso productivo a sucesos inesperados (Contreras & Fernandez, 2003), tales como la aparición de nuevos competidores y el desarrollo de nuevas tecnologías, en el caso minero puede ser la baja de precios de combustible, las inversiones en desarrollo de mina asumidas anteriormente, la alza de precio de los *commodities* y la baja de los costos operacionales. Después de recibir la nueva información, los ejecutivos de la empresa deben decidir expandir, contraer o alterar las etapas del proceso productivo o dejar de operar. En general, el valor de la flexibilidad será mayor

cuanto más probable sea recibir nueva información positiva en torno al proceso productivo del proyecto.

2.2.4.2 Historia de las opciones reales

Si bien la teoría de las opciones reales tiene años en desarrollo, (Trigeorgis, 1996), sólo a partir de mediados de la década de 1980 la investigación empírica en esta área ha tenido un mayor desarrollo. Véase, por ejemplo, (*Brennan & Schwartz, 1985; McDonald & Siegel, 1986; Paddock, Siegel, & Smith, 1988; Quigg, 1993; Tufano, 1998*).

En su estudio, Moel & Tufano, examinaron las decisiones de apertura y cierre de minas de oro. Su base de datos consideró 285 minas de oro explotadas en Norteamérica en los años 1988-1997. Entre sus hallazgos, se encuentra que la probabilidad de apertura de una mina está relacionada a factores de mercado (nivel y volatilidad del precio del oro y nivel de las tasas de interés) y costos de la mina (costos fijos y variables y nivel de reservas). (Moel & Tufano, 2000)

También, los autores descubrieron que la decisión de cierre de una mina se relaciona directamente con la gestión de la empresa que la explota. En particular, la rentabilidad de otras minas explotadas por la empresa y de otros negocios ligados a ésta será gravitante en la decisión de cierre. En el área de la tecnología, Schwartz & Moon, utilizaron las técnicas de las opciones reales para valorizar la empresa de Internet “eBay”. En particular, desarrollaron un modelo que incorpora la incertidumbre en los costos y los efectos tributarios de la depreciación. Utilizaron la volatilidad del precio de la acción y su beta para inferir un parámetro razonable para la tasa de crecimiento de las ganancias. En

un reciente estudio de valoración de una empresa de la minería aurífera peruana, (Mendiola, A; Aguirre, C; Del Castillo, C; Copa, M; Flores, L; Ortiz, R;,, 2014) La valuación que se logra con la simulación de Montecarlo, a diferencia de los otros métodos, es de 203 millones de dólares. El valor de la empresa obtenido por este método es 36 millones más que el método binomial, debido a que se sensibilizaron el precio del *commodity* y los costos de producción mediante procesos estocásticos. (Schwartz & Moon, 2001)

2.2.4.3 Metodología de las opciones reales

La metodología de las opciones reales proporciona un marco analítico para evaluar correctamente los proyectos de inversión que involucran algún grado de flexibilidad en su fecha de iniciación, proceso productivo y eventual cierre. Esta ha cobrado particular popularidad en el área de los recursos naturales. En los últimos años, sin embargo, las opciones reales también han sido utilizadas para analizar el desarrollo de patentes de invención, la decisión de transar acciones en la bolsa y la determinación de introducir nuevos productos o procesos productivos, entre otras muchas aplicaciones.

La metodología de las opciones reales consiste en la evaluación de proyectos de Inversión que involucran algún grado de flexibilidad operacional, tales como la explotación de minas o pozos petrolíferos, la inversión en investigación y desarrollo, entre otros (Contreras & Fernandez, 2003).

El VPN tradicional subestima el valor del proyecto, puesto que este no toma en cuenta las flexibilidades ni la incertidumbre. Lo anterior hace que el método de opciones reales resulte particularmente relevante para aquellos proyectos que arrojen VPN cercanos a cero. En casos como este, la valoración

por opciones reales permite evitar el error de descartar proyectos que si pueden generar un beneficio económico.

2.2.4.4 El valor de la flexibilidad y las opciones reales: conceptos preliminares

En el marco de la teoría de opciones, el valor de la flexibilidad futura es mayor en entornos más inciertos. Por ejemplo, una alta tasa de interés y una fecha de puesta en marcha lejana en el tiempo (cuando es posible aplazar la inversión) no reducen necesariamente el valor de un proyecto de inversión. Incrementos en estas variables reducen el valor presente neto estático de un proyecto, pero pueden aumentar el valor de la opción del proyecto (valor de la flexibilidad) (Contreras & Fernandez, 2003). Ello se ilustra en la Figura 2:5

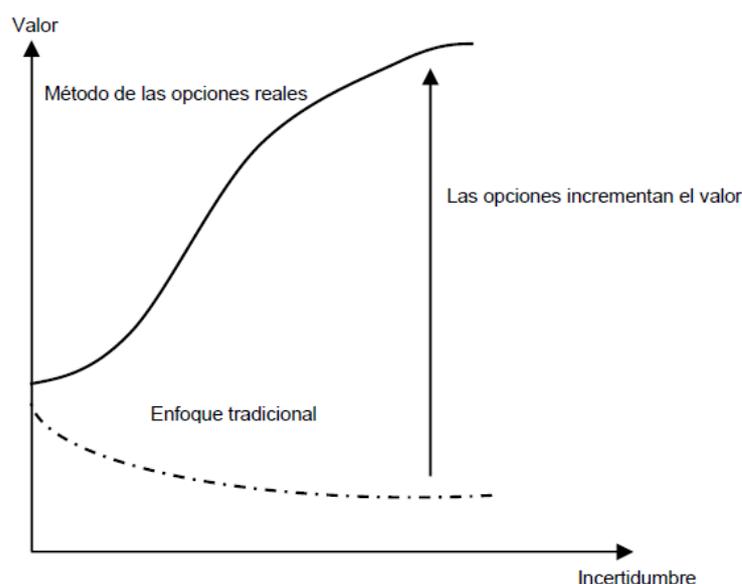


Figura 2:5 La incertidumbre agrega valor

Fuente: (Amram & Kulatilaka, 1999)

2.2.4.5 Métodos clásicos de valoración de proyectos

Seleccionar inversiones consiste en decidir si un proyecto debe ser realizado o no. Cualquier inversión se puede definir por la corriente de pagos e ingresos que origina, considerando cada uno en el momento en el que se produce. Así la empresa debe evaluar todas las entradas y salidas de caja que

se produzcan como consecuencia de la inversión, tanto en la actualidad como en el futuro, para obtener una medida del valor de cada proyecto. En general, la aceptación de proyectos con valor positivo permite que se incremente el valor global de la empresa; mientras que aquellos con valor negativo no se realizarán.

Estos métodos clásicos se dividen en dinámicos y estáticos, según tengan en cuenta o no el factor tiempo. De entre los métodos estáticos, destacan el método del período de recuperación (*pay-back*) y el del rendimiento porcentual. Los métodos dinámicos más utilizados son el del valor capital o valor actual neto (VAN), la tasa interna de retorno (TIR), el *pay-back* descontado y el índice de rentabilidad por flujos de caja descontados (Rivera Alonso, 2013).

Los métodos dinámicos para la evaluación de inversiones, tienen en cuenta la flexibilidad en las inversiones, la que no considera el VAN estático tradicional.

Los métodos tradicionales son:

- a) **Valor Actual Neto (VAN):** El VAN es la diferencia entre el valor actual de los flujos de caja netos que produce una inversión y la inversión inicial requerida para llevar a cabo el proyecto, y representa el aumento o disminución del valor de la empresa al realizar la inversión. El método del VAN tiene en cuenta el valor del dinero en el tiempo
- b) **Tasa Interna de Retorno (TIR):** La TIR es la tasa de interés que iguala el valor actual de los rendimientos futuros esperados con el coste de la inversión inicial (es decir $VAN = 0$). Informa acerca de cuál es la tasa de rendimiento porcentual generada por un proyecto. Es importante tener

en cuenta que las hipótesis de partida son similares a las empleadas en el método del VAN, (Rivera Alonso, 2013).

Cabe destacar que la TIR es una medida cómoda y ampliamente utilizada que indica la tasa de rentabilidad de los proyectos de inversión de una empresa.

c) *Payback* descontado: Este método dinámico consiste en determinar cuánto tiempo tarda en recuperar la empresa la inversión inicial, teniendo en cuenta el valor del dinero en el tiempo, es decir, actualizando los flujos de caja al momento inicial.

El período de recuperación se obtiene restando de la inversión inicial los flujos de caja (netos y descontados) obtenidos en años sucesivos de la vida del proyecto, hasta que los flujos generados igualen a cero o superen la inversión inicial, usando como interés de cálculo el coste de capital de la empresa.

2.2.4.6 Limitaciones de los modelos clásicos

Los criterios anteriores realizan una previsión de todos los flujos de caja que el proyecto a emprender generará en el futuro, calculando el valor actual de estos y comparándolo con la inversión inicial que supondrá la realización de dicho proyecto.

Los flujos de caja que se espera que genere el proyecto son habitualmente reemplazados por los valores medios esperados y éstos se pueden tratar como valores conocidos desde el principio del análisis. Esto impide que la dirección del proyecto pueda alterarlos al ir adaptando su gestión conforme varíen las condiciones imperantes en el mercado durante toda la vida

del proyecto. Esto es conocido como flexibilidad operativa, y aportará valor al proyecto. Esto no lo refleja el enfoque tradicional del Valor Actual Neto (VAN).

La tasa de descuento aplicada es conocida y constante, y sólo depende del riesgo del proyecto. Esto quiere decir que el riesgo es constante, suposición errónea para la mayoría de las situaciones que nos encontramos, puesto que el riesgo variará en función del tiempo que reste de proyecto, de la rentabilidad actual del proyecto en función de su apalancamiento financiero y de las decisiones que tomen los directivos durante el desarrollo del proyecto. Por tanto implica que la tasa de descuento, además de ser incierta, varía con el tiempo.

En gran variedad de proyectos el riesgo disminuye conforme avanza, puesto que la dirección del proyecto tiene más información sobre él y es capaz de intuir con mayor exactitud los flujos de caja que faltan por generar; Además la dirección tratará de utilizar conocimiento adquirido para maximizar estos flujos que están a la espera de recibirse.

Los métodos clásicos de valoración solo toman algunos caminos de la multitud de caminos posibles a la hora de hacer proyecciones del activo subyacente a lo largo de todo el tiempo. Esto puede parecer una invención debido a la gran variabilidad de las previsiones de un proyecto en un horizonte temporal, por esto es necesario esbozar esos caminos, para realizar las simulaciones.

Las limitaciones en el uso de estos métodos clásicos dinámicos se basan en que esta metodología surgió para valorar bonos sin riesgo, pero su utilización se ha extendido a la valoración de inversiones reales, haciendo una

Con lo cual para valorar adecuadamente un proyecto, estas limitaciones resultan muy importantes y hará desechar proyectos que si serían viables y realizando proyectos que incurrirán en pérdidas con la consecuente disminución de valor para los accionistas.

2.2.4.7 Cómo emplear opciones reales; consideraciones generales

Con el enfoque basado en la flexibilidad y la incertidumbre resulta muy apropiado para tratar de dar respuesta a ese algo que estamos dejando al valorar el proyecto que caracteriza a las razones estratégicas. Sin embargo, la cuestión radica en si esas posibles opciones reales tienen algún valor, y si es así, como proceder a su adecuada cuantificación, (Rivera Alonso, 2013).

La Figura 2:6, proporciona una guía para saber cuándo emplear estos modelos de valoración en diversas situaciones de flexibilidad e incertidumbre.

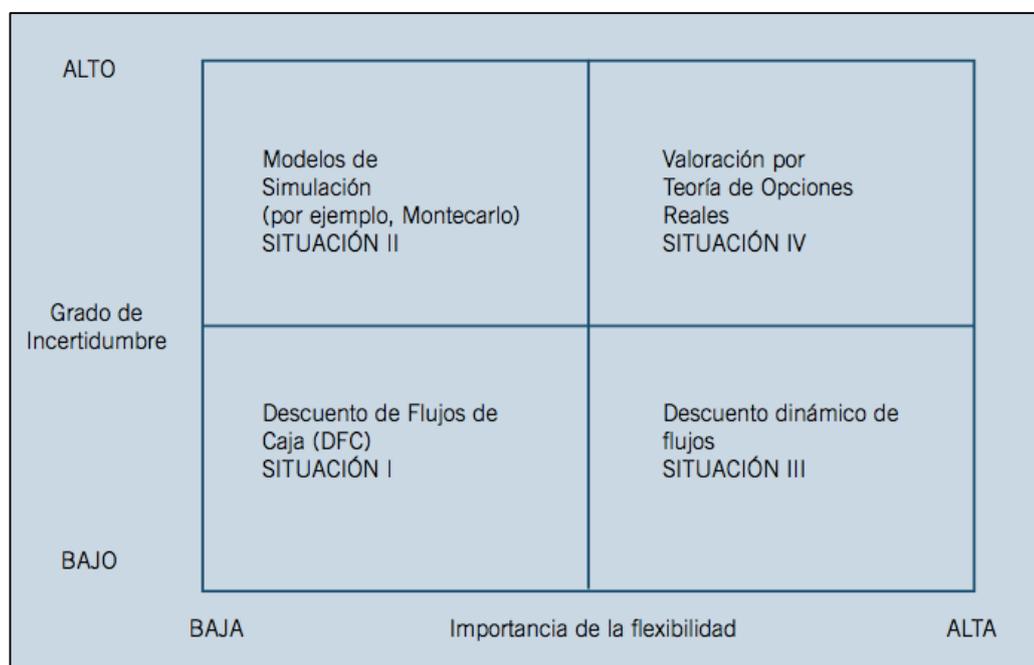


Figura 2:6 Flexibilidad contra incertidumbre
Fuente: (Lopez Lubian, 2003)

analogía entre los cupones de los bonos y los flujos de caja. Sin embargo esto no siempre es exacto pues como se propondrá a continuación hay una serie de factores que pueden alterar este cambio, y adaptar mejor esas inversiones a una opción financiera que a un bono.

Aún con todo, los métodos clásicos de valoración resultan un método óptimo de análisis si se trata de realizar inversiones que no tienen demora, es decir, que se realiza ahora o ya no se podrán realizar nunca, pero tenderán a infravalorar los proyectos en los siguientes casos:

Si posee flexibilidad operativa; Es decir, el proyecto se puede realizar ahora, más adelante, ampliarlo, reducirlo, abandonarlo, etc. “La posibilidad de retrasar una inversión inicial irreversible puede afectar profundamente la decisión de invertir. Esto, también, erosiona la sencilla regla del valor actual neto, y desde aquí el fundamento teórico de los típicos modelos de inversión neoclásicos”. Si es contingente; Esto indica la dependencia de las decisiones de inversión futuras depende de los resultados que el proyecto obtiene en la actualidad.

Si la volatilidad es alta; Cuanto mayor sea la volatilidad, mayor será el valor que posea el derivado debido a la asimetría que presenta entre ganancias y pérdidas; mientras que la tasa de descuento de flujos de caja es más alta al utilizar las técnicas clásicas de valoración, lo que implica un menor valor de los mismos.

Los métodos clásicos de valoración, ignoran el coste de oportunidad de realizar otra inversión ahora, renunciando a esperar a obtener nueva información o conocimientos, (Rivera Alonso, 2013).

En situaciones donde la incertidumbre es baja y la flexibilidad operativa tiene poca importancia, como la situación I, el valor económico captado por los modelos de valoración tradicionales basados en el descuento de flujos de caja (DFC) es una buena aproximación para medir el valor total aportado por el activo o activos que se analizan. Es el caso de decisiones de inversión en mercados estables y consolidados. En la medida en que existan situaciones en donde la incertidumbre y flexibilidad operativa tienen más relevancia, es preciso ampliar el análisis para incorporar el valor aportado por la gestión futura del proyecto.

La situación II es característica de un proceso de valoración donde existe un elevado grado de volatilidad en alguna de las variables que configuran el valor económico, como pueden ser los tipos de interés, la inflación o el tipo de cambio. Este tipo de situaciones bastará con generar un modelo de simulación como por ejemplo los que tienen origen en el método de Montecarlo.

La situación III refleja una valoración en un entorno estable, pero con elevadas posibilidades de desarrollos futuros en forma de: ampliaciones condicionadas a éxitos; retiros o abandonos parciales como consecuencia de fracasos; o períodos de espera en el comienzo del proyecto para asegurar el valor económico previsto. Sería el caso del lanzamiento de un nuevo producto en un mercado con grados de incertidumbre controlados. El valor de la flexibilidad se centraría en los flujos de caja, y puede captarse a través del análisis de diversos escenarios.

Finalmente, la situación IV se aplica a valoraciones de proyectos en mercados muy volátiles y con elevadas posibilidades de desarrollos alternativos en el futuro, dónde es relevante cuantificar el valor aportado por la flexibilidad operativa, ajustándolo al riesgo de la decisión, como es el caso de la minería. En estos casos, la teoría de valoración de opciones proporciona una herramienta útil, sujeta a una serie de limitaciones.

Se entiende por la valoración mediante opciones reales, que es interesante emplear cuando existe gran incertidumbre donde la dirección del proyecto puede responder con flexibilidad sobre la nueva información que se obtenga. Si no existiese incertidumbre, flexibilidad, o el proyecto se encontraría cerca de su umbral de rentabilidad, esta metodología resultaría no útil.

Por tanto, podemos redefinir la regla de decisión del Valor Actual Neto (VAN) que, si recordamos, aconsejaba aceptar proyectos si el valor de los flujos de caja descontados era superior a su valor de inversión y desecharlos si estos flujos de caja descontados son menores (Contreras & Fernandez, 2003). Esta regla no es aceptable pues ignora el coste de oportunidad de realizar la inversión actualmente y renunciar a la opción de esperar de manera que se obtenga nueva información. Por tanto, para que un proyecto de inversión sea rentable el valor actual de los flujos de caja esperados deberá ser superior a la inversión a efectuar, al menos, en una cantidad igual al valor de mantener vivo el valor de la opción.

Si lo miramos desde otra óptica, el valor global del proyecto de inversión en la actualidad. Sea el Valor Actual Neto (VAN) total (mientras que se

denominará Valor Actual Neto (VAN) básico, al valor obtenido por el método tradicional de descuento de flujos de caja) será igual a:

$$\text{VAN total} = \text{VAN básico} + \text{VA opciones implícitas}$$

Ahora se puede comprender perfectamente como siguiendo una metodología de opciones reales hará posible aceptar proyectos donde exista una fuerte irreversibilidad, incertidumbre o elevada flexibilidad operativa puesto que aunque el Valor Actual Neto (VAN) sea negativo, (Rivera Alonso, 2013).

El valor que genera la opción implícita en el proyecto hará que el proyecto sea rentable, generando ganancias para los accionistas que, siguiendo la metodología clásica no se hubiera aceptado.

2.2.4.8 Tipos de opciones reales.

Las opciones que se pueden plantear son varias, pero las más utilizadas son (Amram & Kulatilaka, 1999).

- Opción de diferir, se encuentra en los proyectos en los que se tiene el derecho a retrasar el inicio de la inversión; por tanto es una *call*.
- Opción de abandonar, un proyecto desembolsando una cantidad prefijada; es una *put*.
- Opción de reducir, la escala de producción; sería equivalente a vender una parte del proyecto en una cantidad fija. Será entonces una *put*.
- Opción de expandir, o ampliar un proyecto desembolsando una cantidad adicional; es, por tanto, una *call*.
- Opciones compuestas, son opciones que dependen de otra opción.

Surgen en el desarrollo de proyectos por fases, donde cada fase puede

significar una opción, teniendo entonces todos los tipos anteriores según la etapa en la que se encuentre el proyecto.

2.2.4.9 Ventajas de las opciones reales

El aumento de los flujos de caja producido por las opciones reales proviene de la flexibilidad asociada a la opción que permite que su valor aumente una vez adquirida.

Esta oportunidad surge del hecho de que los negocios, en realidad, se caracterizan por un número limitado de jugadores que interactúan entre sí, cada uno de los cuales puede influir y aumentar el valor de la opción.

La directiva puede influir sobre las variables básicas que conforman el valor de la opción de forma que aumente el valor de las opciones previamente a ejercerlas, y así aumente el valor a invertir por ellas. Esto se consigue de la siguiente forma:

- Aumentando el valor actual de los ingresos esperados. Esto se consigue aumentando los ingresos del proyecto, ya sea mediante aumentos de precio, aumentos de producción o de generación de oportunidades adyacentes al proyecto a realizar.
- Reduciendo el valor actual de los gastos que se espera generar. Esto se puede realizar disminuyendo los costos futuros del proyecto.
- Aumentando la incertidumbre sobre los flujos de caja esperados. Las empresas retrasarán sus inversiones hasta que hayan obtenido nueva información que permitan realizar la inversión en el momento óptimo, y de esa manera se aseguran los mayores réditos por parte de los clientes

puesto que los precios se elevarán al existir mayor incertidumbre en el proyecto.

- Aumentado la vida de la opción y reduciendo el coste de no ejercer la opción. Ahora bien, la siguiente pregunta que surge es cuál de todos los factores tiene mayor influencia sobre el precio de la opción. Esto resulta bastante sencillo con un análisis de sensibilidad. Un estudio llevado a cabo por (Leslie & Michaels, 1997) sobre un caso de compañías de gas, demuestra que al aumentar cada variable un 10%, el valor de la opción aumentaba un 26% si se actuaba sobre la primera variable, un 16% sobre la segunda, un 11% sobre la tercera, un 6% sobre la 4 y un 4% sobre la quinta variable.

Esto quiere decir, que las variables a emplear solamente dependen de cuestiones internas de la empresa, según el impacto tenga sobre el proyecto. De esta forma se podrán clasificar las opciones en tres categorías: Las de prioridad alta, cuyo valor es altamente sensible con las variables sobre las que se pueden actuar; Las de prioridad media, donde el valor de la opción es sensible a un cambio en las variables básicas; y finalmente, las de prioridad baja, donde el valor de la opción es insensible a la actuación sobre cualquiera de las variables básicas, (Rivera Alonso, 2013).

Por todo esto, la principal ventaja que generan las opciones reales es, precisamente, la óptica bajo la cual se entienden la gestión del riesgo. Mientras que en la metodología clásica el miedo al riesgo se soluciona tratando de minimizar la inversión, desde una visión con opciones reales se trata de buscar ganancias con riesgo tratando de maximizar la información para ello.

Por tanto, las principales ventajas que genera el uso de opciones reales para se puede resumir en cuatro apartados:

- Resalta oportunidades. Prima el oportunismo estratégico, es decir, fuerza a la dirección a comparar cada proyecto que surja con un amplio abanico de oportunidades disponibles.
- Aumenta el apalancamiento. Provoca un apalancamiento estratégico al generar oportunidades provocadas por inversiones incrementales que puedan maximizar los beneficios y las oportunidades de los proyectos.
- Maximiza los derechos. Esto es, se adquiere un derecho sobre una oportunidad de tal forma que se tratará de diferir los proyectos con tal de maximizar el valor de la opción.
- Minimiza las obligaciones. Al comparar una opción, si esta se encuentra “fuera de dinero” (*Out of the money*), es decir, si el precio de ejercicio es mayor que el precio del activo real, esta no se ejercerá, limitando por tanto las posibles pérdidas que generaría el proyecto.

En tanto, queda claro que este tipo de análisis resulta una estrategia eficaz a la hora de valorar cualquier inversión en un nuevo proyecto, valorando todas las opciones posibles, de tal forma que siempre se busque un equilibrio entre beneficios, riesgo e información, (Rivera Alonso, 2013).

2.2.5 Volatilidad

La volatilidad puede definirse generalmente como una medida de la frecuencia e intensidad de los cambios del precio de un activo. La volatilidad se puede medir de diversas maneras, pero a efectos de valorar una opción o un instrumento que contenga una opción incorporada, la volatilidad mide la

desviación típica del porcentaje de variación que ha sufrido, cuando ese porcentaje se compone continuamente.

Concepto para opciones reales

En el caso concreto de una opción real se definirá la volatilidad como el rango de precios que podrá tener el subyacente durante la vida de contrato de la opción y como este precio puede variar en precio en función de los precios en términos porcentuales de su velocidad.

Para la correcta valoración de las opciones, se debe tener en cuenta no sólo la volatilidad implícita o la volatilidad histórica, sino también una serie de factores que afectan a los flujos de caja de la empresa, esto puede abarcar desde la influencia de la volatilidad en el tiempo para el caso de un proyecto en el exterior, hasta el factor predominante tanto en ingresos como en costes. Por tanto, se antoja difícil realizar esta estimación con gran precisión, (Rivera Alonso, 2013).

Métodos de estimación en opciones reales

Existen multitud de métodos para valorar esta volatilidad, pero fundamentalmente han sido tres metodologías las más desarrolladas y utilizadas en este ámbito. Son la volatilidad del portafolio réplica o volatilidad histórica, la volatilidad del factor predominante y la volatilidad implícita. A continuación serán desarrollados con mayor profundidad.

- **Volatilidad del portafolio réplica.** Es frecuente utilizar este método para estimar la volatilidad si se dispone de información histórica sobre el activo como series de datos relativos a los precios del activo o similares,

de un activo o un proyecto o una empresa comparable en el mercado. Bastaría con medir la desviación estándar de la serie de datos de los que se disponga para calcular su volatilidad.

- **Volatilidad del factor predominante.** Este método de estimación de la volatilidad se enfoca en estimar dicha volatilidad a través del factor predominante del proyecto, es decir, del parámetro principal que afecte a la generación de los flujos de caja. Según esto, se entiende que para iniciar un proyecto, como por ejemplo una mina de oro, se tomará la volatilidad del precio del oro para la evaluación de la volatilidad, asumiendo una correlación perfecta entre la volatilidad del proyecto con la del oro.

Este ejemplo resulta práctico e intuitivo, los datos son matemáticamente válidos, aún así los datos con los que se realizó este estudio son de difícil consecución. Por otro lado, esta metodología tiende a sobrevalorar la volatilidad, al no contar con otros factores que intervienen decisivamente en la volatilidad real del proyecto, que pudieran atenuar la incertidumbre sobre él mismo. Además, no es aplicable para variaciones de rendimiento que resulten negativas porque no existe su logaritmo natural, este factor es crucial porque los activos reales fácilmente pueden tomar dichos valores y se puede incurrir en errores de cálculo. (Mun, 2006).

- **Volatilidad implícita.** Es necesario que el estimador de la volatilidad recoja tanto las variables endógenas del proyecto integrado en el Valor Actual Neto (VAN), como los elementos del mercado. De esta forma, se

puede tratar de estimar de forma fiable el valor que deviene la volatilidad. (Lamothe & Méndez, 2007).

La estimación de la volatilidad implícita reúne todos los futuros flujos de caja estimados en el proyecto en dos tiempos, tomando constante la tasa de descuento, y siendo obviados en el primer periodo los costes hundidos. (Mun, 2006).

Esta metodología implica tomar el valor de la volatilidad en el mercado como la volatilidad del proyecto, puesto que parte de la base de que el mercado es completo y, por tanto, estas son equivalentes. Analizando ahora, para su cálculo, la desviación estándar del Valor Actual Neto (VAN) desde un periodo inicial a un periodo final. De esta forma, se pueden unir en un solo elemento, la incertidumbre provocada por todas las variables que afectan a la incertidumbre del proyecto, (Rivera Alonso, 2013).

2.2.5.1 Aplicación a proyectos

Como se describió, el método del VPN, ya sea determinístico o con consideraciones de riesgo (simulación estática, simulación dinámica, análisis de sensibilidad, análisis de escenarios, ajuste a la tasa de descuento) no conduce a decisiones erróneas cuando un proyecto es muy bueno o muy malo. Sin embargo, en casos en que la rentabilidad del proyecto es cercana al límite exigido, será necesario precisar la estimación, aplicando métodos más avanzados, tales como la valoración por opciones reales.

El VPN no relaciona el nivel de riesgo con las posibilidades de respuesta operacional del proyecto. Tampoco considera la capacidad de reacción que tiene el administrador de un proyecto para responder ante contingencias

(variación de los parámetros que aportan incertidumbre al proyecto), siendo éste sólo un ejecutor de la planificación inicial.

Estas respuestas operacionales ante contingencias son las que se conocen como flexibilidades. Las flexibilidades implican no linealidades, es decir, que el valor esperado de los flujos de caja de cada período no puede ser estimado directamente a partir de los valores esperados de las variables inciertas que determinan dicho flujo de caja. Otro supuesto de la práctica habitual del VPN, es que el nivel de riesgo es constante a lo largo del horizonte de evaluación (supuesto implícito al descontar con una tasa constante calculada según CAPM) (Contreras & Fernandez, 2003).

Algunas tesis desarrolladas en los programas de magíster del Departamento de Ingeniería Industrial de la universidad de Chile, se han abocado a la aplicación de las opciones reales a proyectos mineros poniendo énfasis a la flexibilidad operativa y a la incertidumbre del precio de los *commodities*.

a) La ecuación de *Black-Scholes* y el método de opciones reales

Comencemos analizando las posibilidades de aplicar la ecuación de (Black & Scholes, 1973), de valoración de opciones. Como es sabido, el aporte de estos investigadores fue el encontrar una solución analítica para el precio una opción europea, usando un modelo de equilibrio general y el argumento de arbitraje. La contribución de los autores radica en replicar el valor de una opción mediante una estrategia de inversión dinámica en un activo libre de riesgo (bono) y el activo subyacente, una acción, en este caso.

La derivación de la fórmula asume que el activo subyacente no paga dividendos y que las opciones son europeas. Las fórmulas de una opción de compra (*call*), *c*, y de una opción de venta (*put*), *p*, vienen dados por:

$$c = S N(d1) - K e^{-rt} N(d2)$$

$$p = K e^{-rt} N(-d2) - S N(-d1)$$

Donde:

$N(.)$ = distribución acumulada de una normal estándar

$$d1 = \frac{\ln\left(\frac{S}{K}\right) + \left(r + \frac{\sigma^2}{2}\right)T}{\sigma\sqrt{T}} \quad d2 = d1 - \sigma\sqrt{t}$$

S: Precio *spot* de una acción

K: Precio de ejercicio de la opción

σ : Desviación estándar de la rentabilidad asociada a la acción

r: Tasa de interés libre de riesgo

T: Período de maduración de la opción (expresado en años)

En algunos casos particulares de opciones reales, esta ecuación puede ser utilizada para valorar activos reales. Un ejemplo de opción real puede ser la de ampliar la planta del proyecto que hoy vale *S* (su valor presente neto) al cabo de un período *T*, lo cual implica una valor adicional *K*. En este caso se puede valorar la opción (de ampliar) directamente a partir de la ecuación, de forma que el valor del proyecto resulta ser igual a *S* + *c*. (Contreras & Fernandez, 2003).

b) Evaluación mediante probabilidades ajustadas por riesgo en una simulación de precios

(Cox & Ross, 1976), propusieron un procedimiento alternativo basado en los resultados obtenidos por *Black & Scholes*, y una técnica de reducción a un mundo de neutralidad frente al riesgo. Dos activos que son sustitutos perfectos deben obtener la misma tasa de retorno en equilibrio. Este es el caso de una opción que puede ser replicada mediante un portafolio dinámico con posiciones en el activo subyacente y endeudamiento (bono).

Si la solución para valorar la opción es la misma para cualquier estructura de preferencias, entonces es posible suponer neutralidad frente al riesgo. Suponiendo que todos los inversionistas son neutrales al riesgo, el activo subyacente y la opción deben rendir la tasa libre de riesgo. El precio de la opción debe ser igual al precio terminal esperado de la opción, descontado a la tasa libre de riesgo.

Para opciones complejas (sin solución analítica), *Boyle*, propuso la aplicación de simulación de Montecarlo. Este se basa en el enfoque de Cox & Ross, que requiere que se pueda formar un portafolio que replique exactamente los retornos de una opción, usando una combinación de endeudamiento libre de riesgo y de posiciones en el activo subyacente.

Según el método de *Boyle/Cox-Ross*, la simulación sobre el precio se puede modelar mediante la construcción de la variable aleatoria:

$$x_{t+1} = x_t e^{\left(r - \frac{\sigma^2}{2}\right)t + \sigma z}$$

Donde:

Xt: Precio de la opción sobre el activo S, en el período t.

r: Tasa libre de riesgo.

S: Desviación estándar de los retornos

Z: Variable aleatoria normal estándar.

Es decir, la tendencia del proceso estocástico es $r - \sigma^2/2$.

(Brennan & Schwartz,, 1985). Proponen un modelo similar, pero considerando que la tendencia del proceso estocástico es $r-d$, donde d es el dividendo marginal o rendimiento de conveniencia. Este ajuste es necesario para la valoración de activos que generan ganancias de la misma forma en que se ajusta la ecuación de (Black & Scholes, 1973) por este concepto.

(Constantinides, 1978). Derivó un método de evaluación generalizado mediante reducción a un mundo sin riesgo, similar al procedimiento propuesto por (Cox & Ross, 1976), pero basado en los supuestos del CAPM y que no requiere suponer la existencia de un portafolio réplica. Entonces, para los propósitos de evaluar un activo derivado, se puede suponer que todos los inversionistas son neutrales al riesgo y, como en un mundo neutral al riesgo, utilizar una tasa libre de riesgo para el retorno de cualquier activo.

Se modela un proceso de *Wiener* para el precio:

$$dx = \mu dt + \sigma dw$$

Donde μ y σ son la tendencia y la desviación estándar instantáneas del precio x, y dw es el incremento de un proceso de *Wiener*.

Para ajustar a un mundo sin riesgo, se usa como tendencia

$$\mu^* = \mu - \lambda \rho \sigma$$

El término $\lambda \rho \sigma$ se deriva de imponer que el retorno del proyecto satisface el CAPM, donde $\lambda = (R_m - r) / \bar{\sigma}_M$ (valor esperado de la prima por riesgo del mercado dividida por la desviación típica del mercado) y ρ es el coeficiente de correlación instantáneo entre dW y el retorno de mercado. De esta forma se tiene que μ^* es una tendencia ajustada por riesgo.

(Jacoby & Laughton, 1987), propusieron un método de valoración de activos derivados que combina el enfoque de *Boyle, Cox y Ross* con la evaluación por componentes y con los supuestos del modelo de valoración de activos de capital (CAPM), al igual que *Constantinides*. En vez de estimar un rendimiento por conveniencia como un dividendo proporcional, como en la metodología de (Brennan & Schwartz, 1985), ellos utilizan el concepto de un bono-materia prima, que involucra un solo pago, el precio que la materia prima tenga en su fecha de maduración.

El bono materia prima que utilizan *Jacoby & Laughton*, no entrega un rendimiento por conveniencia, y su precio en la fecha de maduración es igual al precio de la materia prima en la fecha de maduración. En consecuencia, se podría usar los procesos de los precios de mercado de los bonos en lugar de los procesos de precios de la materia prima (esto si se transan en el mercado los bonos-materia prima). Sin embargo, no se transan muchos bonos-materia prima en el mercado por lo que, para calcular su valor, se recurre al CAPM.

En este método, se genera una serie determinística de precios, la que se reduce a un mundo sin riesgo mediante el cálculo de equivalentes ciertos (con el cocientes de tasas de descuento libre de riesgo y con riesgo según CAPM).

Esta serie ajustada de la tendencia del precio es afectada por un factor aleatorio, es decir, a esta serie se le puede aplicar la técnica de simulación de *Boyle/Cox Ross*.

En síntesis:

- Se identifican las fuentes básicas de incertidumbre del proyecto, los que deben ser precios de activos transados en el mercado; se estima la varianza del proceso de cada activo subyacente.
- Se especifican las fórmulas de “flujos de caja” que relacionan los flujos de caja con los precios de los activos subyacentes.
- Se reemplaza la tendencia en los procesos del precio del activo por la tasa libre de riesgo, como en un mundo neutral frente al riesgo.
- Se implementa la simulación para obtener la distribución terminal de los precios de los activos (terminal se refiere al periodo en el cual los flujos de caja tienen lugar)
- Se obtiene la distribución terminal de cada flujo de caja.
- A partir de cada distribución terminal se obtiene la media o valor de cada flujo de caja.
- Se descuenta el flujo de caja por la tasa libre de riesgo para obtener su valor presente y luego se suman los valores presentes para obtener el valor del proyecto.
- La estructura implícita de tasas de descuento (por riesgo y tiempo) que hubiese entregado el mismo valor del proyecto se puede lograr usando el enfoque VPN, (Contreras & Fernandez, 2003).

2.2.5.2 Aplicación de opciones reales a proyectos mineros mediante simulación

En este punto, se muestra el uso de opciones como un apoyo a la toma de decisiones en proyectos mineros reales, basándonos en los trabajos de (Zenteno, 1998; *Kettlun*, 1999; Espinoza, 2002). Todos ellos consideran la flexibilidad relativa al uso de reservas marginales (cambiando la Ley de corte o costos totales) durante algún periodo de explotación de la mina, cambiando el enfoque de evaluar el proyecto como si dichas reservas marginales (de más baja ley) se explotaran al final de la vida útil.

Lo anterior es sólo una de las flexibilidades propias de proyectos mineros. Esta consiste en adelantar la explotación de las reservas marginales mientras el precio del cobre se mantenga bajo un límite, a partir del cual se hace más rentable procesar el mineral marginal previamente acopiado (extraído en conjunto con el mineral de leyes superiores), con costos de operación menores, dado que a este tipo de mineral sólo le resta los costos de procesamiento y transporte.

2.2.5.3 Aplicaciones de la teoría de opciones reales en minería

Caso 1: Tratamiento de minerales de baja ley

En el caso siguiente se empleó la teoría de opciones para incluir el mineral de baja ley de canchas en minería a tajo abierto, donde hay bastante tonelaje de remoción de mineral de baja ley, pasado el tiempo los costos hasta su disposición en los botaderos se vuelven costos hundidos, esta es una de las flexibilidades propias del proceso productivo minero. Cabe resaltar la incertidumbre del precio de los *commodities* es factor fundamental para valorar las reservas mineras, valorar con diferentes escenarios de precios también

concierno a la evaluación por la teoría de opciones reales. Ejemplo práctico es el trabajo de Zenteno, para llegar al valor de la flexibilidad (y por extensión de la opción incluida en ella), opta por utilizar el método de *Jacoby & Laughton*, obteniendo luego, valores para el VPN tradicional y el VPN-OP.

El plan de producción del proyecto son los resultados de simulación condicional. Se consideró un nivel de certeza de 90% del recurso, con un nivel de precios de cobre de 92 centavos US\$/TM y 22 US\$/TM de ácido, con una proyección de 14,7 años de operación.

Considera al precio del cobre como la principal fuente de incertidumbre, con bruscas y continuas fluctuaciones que se aprecian en la serie histórica de precios.

Del análisis del precio histórico del cobre obtuvieron los siguientes resultados.

Tabla 2:5 Estadística básica serie histórica precios del cobre

Media	41,8
Mediana	29,1
Moda	11,2
Máximo	133,2
Mínimo	5,7
Varianza	1164,53
Desv. estándar	34,13

Fuente: (Espinoza, 2002)

Para las proyecciones se considera un valor inicial de 0,98 (US\$/lb), con una tendencia anual del 2,5% creciente y una volatilidad anual del 20%.

En la sensibilidad del modelo, se obtuvieron los siguientes valores.

- Costo fijo del plan base: 11,13 (centavos US\$/lb Cu.)
- Costo variable del plan base: 28,21 (centavos US\$/lb Cu)
- Costo variable *stock* mineral marginal: 18,5 (centavos de dólar/libra Cu)

Los parámetros económicos relevantes en este proceso son:

- Tasa de descuento: incluye el riesgo sistemático. Se consideró una tasa de 9%
- Tasa libre de riesgo: se utilizó una tasa igual a 6%
- Riesgo precio del cobre: se considera un factor $b = 0,5$
- Retorno del mercado: se usó un valor igual a 10%

Cabe notar que de acuerdo a los tres últimos datos, la tasa de descuento según CAPM debiera ser 8%.

Nivel de Inversión

De acuerdo a los antecedentes sobre el proyecto y a las estimaciones realizadas sobre el recurso mineral, se considera un nivel de inversión de 220,2 millones de dólares. Los resultados obtenidos se resumen a continuación: Ver Tabla 2.6.

Tabla 2:6 Resultados de evaluación con OP

VPN	276,323,300	(US\$)
VPN OP	282,909,100	(US\$)
Valor flexibilidades	6,585,760	(US\$)
Producción base	40,000	TM
Producción alternativa	14,000	TM
% reservas económicas utilizadas		96
% reservas marginales utilizadas		4

Fuente: (Espinoza, 2002)

El precio del cobre es el factor de mayor impacto en el proyecto. Por dicha razón, se consideró un análisis para cuatro niveles del precio inicial y a partir de ello, una difusión de precios en los años siguientes (Tabla 2.7 y 2.8). A continuación los casos.

Tabla 2:7. Casos de estudio de sensibilidad del precio del cobre

Caso	Precio cobre (US\$)
1	0,7
2	0,9
3	1,0
4	1,2

Fuente: (Espinoza, 2002)

Obteniéndose:

Tabla 2:8 Resultados de sensibilidad del precio del cobre (US\$)

Caso	VPN	VPN OP	Valor flexibilidad
1	100,333,900	112,431,600	12,097,700
2	221,339,500	229,342,000	8,002,500
3	276,323,300	282,909,100	6,585,800
4	402,542,000	406,916,200	4,374,200

Fuente: (Espinoza, 2002)

Los resultados confirman la fuerte dependencia del proyecto al nivel de precios del cobre en la evaluación final del depósito mineral.

Finalmente se presenta un análisis de sensibilidad respecto a la volatilidad del precio. Las sensibilidades realizadas fueron las siguientes. Ver Tabla 2.9.

Tabla 2:9 Caso de estudio sensibilidad volatilidad en el precio del cobre

Caso	Volatilidad
1	1
2	10
3	20
4	30

Fuente: (Espinoza, 2002)

Es esperable obtener una tendencia creciente en el valor de la flexibilidad, conforme sube la volatilidad en el precio. Los resultados siguientes obtenidos confirman la hipótesis. Ver Tabla 2.10.

Tabla 2:10 Resultados sensibilidad volatilidad en el precio del cobre

Caso	VPN	VPN OP	Valor flexibilidad
1	283,581,000	283,739,300	158,300
2	281,463,600	282,784,400	1,320,800
3	282,247,400	288,653,800	6,406,400
4	282,387,900	296,802,200	14,414,300

Fuente: (Espinoza, 2002)

Caso 2: Determinación del tamaño óptimo de un proyecto minero

La flexibilidad operativa que se analiza es el tratamiento de minerales de baja ley por efecto de cambios en el parámetro precio del cobre, así como la posibilidad de suspender temporalmente las operaciones. También en este caso (Zenteno, 1998), en su tesis de magister en la Universidad de Chile, utiliza el método de *Jacoby & Laughton*. En este trabajo se utiliza la teoría de opciones para analizar el tamaño óptimo para un proyecto de Codelco. Se analizan cinco alternativas de tamaños de producción: 150, 200, 250, 300, y 350 KTCu/año. Considerando al único elemento que incorpora incertidumbre el precio del cobre.

Además del VPN tradicional y el VPN-OP, se analizan los resultados de una simulación que proyecta precios según un proceso de difusión, pero sin considerar ajustes operacionales ante las variaciones de los precios. Al VPN obtenido de acuerdo a este último procedimiento se le denomina VPN-SF.

El desarrollo del plan minero se proyectó para un horizonte de 25 años LoM (*Live of Mine*), partiendo, por un tamaño de 150 KTCu/año y llegando de 11 años de LoM, cuando el tamaño es de 350 KTCu/año. Se definió una secuencia de explotación económica, basadas en el algoritmo de (Lane, 1988)

Adopta un modelo *lognormal*. Para las proyecciones se considera un valor inicial de 1.00 (US\$/lb Cu) con un tendencia anual del 2,5% creciente y una volatilidad anual del 20%.

La estructura de costos es la siguiente:

- Costo fijo: 40.807.146 US\$.
- Costo variable: 25.3 (centavos US\$/lb Cu).
- Costo variable mineral marginal: 19,5 (centavos de US\$/lb Cu).

Los parámetros económicos importantes en este proceso son:

- Tasa de descuento: incluye el riesgo sistemático o no diversificable de todos los proyectos mineros. Para esta aplicación se considera 10%.
- Tasa libre de riesgo: se utilizó una tasa igual a 6%.
- Riesgo asociado al precio del cobre: se considera un factor $b = 0,4$ (aunque se sensibiliza para betas mayores).
- Retorno del mercado: se usó un valor igual a 10%.
- Nuevamente se tiene que de acuerdo a los tres últimos datos, la tasa de descuento según CAPM debiese ser aproximadamente 8%.
- Nivel de inversión: De acuerdo a los antecedentes sobre el proyecto, se considera un nivel de inversión de 695 millones de dólares para el tamaño de 150 KTCu/año, 917 millones para el tamaño de 200 KTCu/año, 1138 millones para los 250 KTCu/año, 1359 millones para 300 KTCu/año y 1581 millones de US\$ para el tamaño de 350 KTCu/año.

Los resultados óptimos se resaltan en negrillas los resultados de tamaño óptimo en cada una de las evaluaciones:

Tabla 2:11 Resultados de tamaño óptimo

Tamaño (KTCu/año)	VPN (MUS\$)	VPN - SF (MUS\$)	VPN - OP (MUS\$)
150	1390	1965	2008
200	1563	2122	2160
250	1635	2221	2251
300	1646	2187	2210
350	1609	2133	2155

Fuente: (Zenteno, 1998)

Se puede apreciar que el tamaño de producción óptimo es de 300 KTCu/año según el enfoque estático del VPN tradicional, sin embargo es de 250 KTCu/año según la simulación sin considerar flexibilidades y según la valoración con opciones reales. Según resultado obtenido se concluye que la maximización del VPN se alcanza antes en la valoración con opciones, dado que los valores presentes son mayores debido al valor de las flexibilidades operacionales.

Se comprueba además, que el valor obtenido con opciones reales (VPN-OP), es siempre mayor que el valor de la simulación sin considerar flexibilidades (VPN-SF). El análisis de sensibilidad respecto al precio, se realiza para los tres cálculos de VPN, para valores iniciales del precio del cobre variando entre 0,6 y 1,2 US\$/lb:

Tabla 2:12 Sensibilidad a precio inicial del cobre, VPN- C (En MUS\$)

Tamaño KTCu/año	VPN - C PCu = 0,6 US\$/lb	VPN - C PCu = 0,8 US\$/lb	VPN - C PCu = 1,0 US\$/lb	VPN - C PCu = 1,2 US\$/lb
150	182	786	1,390	1,994
200	136	850	1,563	2,276
250	47	841	1,635	2,428
300	-63	792	1,646	2,500
350	-196	707	1,609	2,511

Fuente: (Zenteno, 1998)

Tabla 2:13 Sensibilidad a precio inicial del cobre VPN – SF (En MUS\$)

Tamaño KTCu/año	VPN – SF PCu = 0,6 US\$/lb	VPN – SF PCu = 0,8 US\$/lb	VPN – SF PCu = 1,0 US\$/lb	VPN – SF PCu = 1,2 US\$/lb
150	335	1,144	1,965	2,733
200	323	1,235	2,122	3,050
250	220	1,195	2,221	3,190
300	108	1,144	2,187	3,220
350	-23	1,092	2,133	3,259

Fuente: (Zenteno, 1998)

Tabla 2:14 Sensibilidad a precio inicial del cobre VPN - OP

Tamaño KTCu/año	VPN – OP PCu = 0,6 US\$/lb	VPN – OP PCu = 0,8 US\$/lb	VPN – OP PCu = 1,0 US\$/lb	VPN – OP PCu = 1,2 US\$/lb
150	436	1,208	2,008	2,762
200	421	1,294	2,160	3,074
250	315	1,249	2,251	3,209
300	191	1,188	2,210	3,233
350	59	1,132	2,155	3,271

Fuente: (Zenteno, 1998)

Como era de esperar, para los tres enfoques se cumple que cuando el precio aumenta el tamaño óptimo también aumenta. Finalmente, el trabajo de Zenteno presenta un análisis de sensibilidad que muestra como para niveles de volatilidad menor al considerado en la proyección inicial, se obtienen tamaños óptimos mayores en los enfoques estocásticos.

Caso 3: Evaluación por simulación de un proyecto minero privado

También en este caso la flexibilidad operativa que se analiza es la modificación de las leyes de corte. En este caso el método de simulación utilizado es el de *Constantinides*. Se utiliza el modelo de planificación de Lane.

Calcula un VPN con simulación y ajustes a un mundo neutral al riesgo pero sin considerar las flexibilidades y un VPN por opciones incluyendo las flexibilidades.

El proyecto se define para un horizonte de 10 años de operación a tajo abierto. Se considera un ritmo de extracción de 1,6 millones de toneladas al año de minerales oxidados, con una ley promedio de 1,5% de cobre.

Adopta un modelo *lognormal*. Para las proyecciones se considera un valor inicial de 1.00 (US\$/lb). La tendencia según el modelo de *Constantinides*, queda determinada directamente por la tasa ajustada por riesgo según CAPM. La volatilidad anual se hace variar entre 20% y 30%.

Se consideró la siguiente estructura de costos:

- Costo fijo: 2.418.117 US\$/año
- Costo variable: 0,242 US\$/TM en la mina, más costos de tratamiento (2,793 US\$/TM), refinación (294 US\$/TM) y transporte (variable según distancias y años de operación).

Los parámetros económicos relevantes en este proceso son:

- Tasa de descuento: para esta aplicación se considera 8%
- Tasa libre de riesgo: se utilizó una tasa igual a 5%
- Riesgo precio del cobre: se considera un factor $b = 0,75$
- Premio por riesgo del mercado: 4%
- Nivel de Inversión: se considera un nivel de inversión de 48 millones de dólares.

Los resultados son los siguientes. Se presenta el escenario de precio inicial de 1 US\$/lb (para el cual se diseña la planta) y otro de 0,7 US\$/lb, con volatilidades de 20% y 30%. Ver Tabla 2.15.

Tabla 2:15 Resultados de opciones

Precio (US\$/lb)	Método de Evaluación	Volatilidad 20%	Volatilidad 30%
0.7	VPN sin flex.	31,384,092	---
0.7	VPN op. con flex.	33,372,785	---
1.0	VPN sin flex.	117,886,843	120,350,022
1.0	VPN op. con flex.	120,663,750	124,265,375

Fuente: (Kettlun, 1999)

Se comprueba que el VPN tradicional subestima en todos los casos el valor del proyecto. Como era de esperarse considerando para el diseño de la planta (1,0US\$/lb) el VPN con flexibilidades es mayor que los VPN sin flexibilidades.

2.3 Hipótesis de la investigación

2.3.1 Hipótesis general

- Empleando la teoría de opciones reales se generarán mayores márgenes de ganancia bruta anual para la empresa Minera Bateas.

2.3.2 Hipótesis específicas

- Determinando la incidencia de la teoría de opciones en el tratamiento de mineral de baja ley se generará mayor margen de ganancia bruta anual en Minera Bateas.
- Determinando la incidencia de la teoría de opciones tomando como incertidumbre al precio de los *commodities* se generará mayor margen de ganancia bruta anual en Minera Bateas

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Diseño metodológico

El trabajo de investigación es de tipo descriptivo - aplicativo, no experimental, basado en la metodología de evaluación de proyectos de inversión “Opciones Reales” En el marco de la teoría de las opciones, el valor de la flexibilidad futura es mayor en entornos más inciertos.

La metodología de las opciones reales consiste en la evaluación de proyectos de inversión que involucran algún grado de flexibilidad operacional, tales como la explotación de minas o pozos petrolíferos, la inversión en investigación y desarrollo, entre otros. También valora las incertidumbres internas y externas que presenta el negocio minero.

El presente trabajo de investigación toma la incertidumbre del precio de los *commodities* y la flexibilidad de cambio del *becoff* al mineral de baja ley.

Para determinar la influencia del tratamiento de mineral de baja ley en la generación de mayor margen de ganancia bruta anual, se analizaron 2 casos por simulación: caso 01) El tratamiento de mineral de baja ley conjuntamente con leyes actuales y caso 02) por variación del precio de los *commodities*. El

caso 01 se sub divide en 3: el caso 01 a representa el plan anual base, el caso 01 b, considera la inclusión del 8.7 % de mineral de baja ley al plan de tratamiento anual y el tonelaje restante con leyes del plan anual base y el caso 01 c, considera la inclusión del 8.7 % de mineral de baja ley al plan de tratamiento anual y el tonelaje restante con leyes ejecutadas de enero – abril y el *forecast* a diciembre. Se hace notar que las leyes ejecutadas en plomo y zinc en los primeros meses son superiores a las programadas.

En el caso 02, se realizó un esquema de variación del precio de los *commodities*, en base a los valores considerados del plan anual base en donde se consideraron las volatilidades anuales.

El método para el objetivo específico 1 Se realizó por simulación se usó el 8.7% de mineral alimentado a planta que es de mineral de baja ley. Con valores de NSR entre >16.5 US\$/TM y ≤ 76 US\$/TM. El costo total o *becoff* histórico promedio de los últimos 12 meses es de 76 US\$/TM y el *becoff* de mineral roturado es de 16.5 US\$/TM, por ende resulto un ahorro en los costos de operación en los 8.7% de mineral de baja ley. El 92.3% fue alimentado de la extracción diaria de mina. Considerado en el plan anual 2017 como base.

El método para el objetivo específico 2 Se realizó por simulación considerando un plan base, como mineral principal en escenarios alcistas y bajistas. Con recuperaciones metalúrgicas constantes. Considerando el plan anual 2017 como base; el método para valorar el modelo es por simulación, empleando la teoría de opciones reales.

La Investigación descriptiva - aplicada, comprende la descripción de registro, análisis e interpretación de la naturaleza actual de los datos. Utilizando

el método de análisis, se logra caracterizar un objeto de estudio o una situación concreta, señalar sus características y propiedades. Combinada con ciertos criterios de clasificación sirve para ordenar, agrupar o sistematizar los objetos involucrados en el trabajo indagatorio.

3.2 Revisión, recopilación y elaboración de información preliminar

Se realizó una planificación según las metodologías a aplicar para ejecutar el proyecto de investigación, se recopilaron y revisaron información bibliográfica relacionada al tema de investigación.

Se hizo una revisión bibliográfica para tener una visión del estado del conocimiento en relación del tratamiento de mineral de baja ley, basado en la teoría de opciones reales la que toma en cuenta las flexibilidades operativas y la incertidumbre del precio de los *commodities* para generar mayor margen de ganancia para la mina subterránea de Minera Bateas.

3.3 Población y muestra

3.3.1 Población

Mineral roturado de baja ley, en Minera Bateas.

3.3.2 Muestra

Mineral de roturado de baja ley, procedente de tajeos en los últimos 6 meses desde noviembre 2016 – abril 2017.

3.4 Variables

3.4.1 Variable dependiente

La variable dependiente es:

- Incremento de margen de ganancia anual en Minera Bateas.

3.4.2 Variable independiente

La variable independiente es:

- Mineral de baja ley
- Precio de los *commodities*

3.4.3 Variable interviniente

- Mina Bateas

3.5 Operacionalización de variables

Tabla 3:1 Operacionalización de variables

VARIABLES	INDICADORES	ÍNDICES
	<i>Becoff</i>	US\$/TM
Variable independiente 1: Mineral de baja ley	Evaluación de Reservas Costos Hundidos <i>Net Smelting Return</i>	Probada y probable US\$/TM US\$/TM
Variable independiente 2: Precio de <i>Commodities</i> (Ag)	Precio histórico Volatilidad	US\$/oz y US\$/TM %
Variable dependiente 1: Margen de ganancia	Costo beneficio	US\$
Variable dependiente 2: Plan de minado anual	<i>Becoff</i> Evaluación de Reservas <i>Net Smelting Return</i>	US\$/TM Probada y probable US\$/TM

Fuente: Elaboración propia

3.6 Técnicas de recolección de datos

3.6.1 Técnica

El análisis de contenido técnica utilizada para estudiar y analizar la comunicación de una manera objetiva, sistemática y cuantitativa además permite obtener y recopilar información relacionada con el problema y objeto de investigación, utilizamos documentos relacionados a la teoría de opciones reales.

3.6.2 Instrumento

Los instrumentos que se han utilizado en el presente estudio fue la hoja de registros de extracción de mineral de baja ley, reporte diario de operación, informes semanales y mensuales.

Hoja de registros de mineral de baja ley: Es una plantilla donde el área de geología reporta mensualmente el mineral de baja ley, con sus respectivas leyes.

Informes semanales y mensuales: Es la recolección real de datos del trabajo diario en la producción.

Modelo de bloques de reservas a CP: Es un modelo tridimensional, que es evaluado con parámetros a CP, tales como costos, precio de *commodities*, etc. En esta se puede observar zonas de baja ley que no necesariamente están incluida en el plan de producción para alimentación a planta. (Procedimientos de recolección de datos).

Se describió y se desarrolló detalladamente con temas relacionados al tratamiento de mineral de baja ley basado en la teoría de opciones reales, poniendo énfasis a la flexibilidad de cambiarle el *becoff* al mineral de baja ley roturado y la incertidumbre del precio de los *commodities*, para generar mayores márgenes de ganancia bruta anual en Minera Bateas.

3.6.3 Información de minerales de baja ley

La información de mineral roturado de baja ley es de vital importancia para realizar la simulación de la inclusión del mineral de baja ley al plan de tratamiento anual para generar mayores márgenes de ganancia basado en la teoría de opciones reales y afirmado en la definición de costos hundidos.

Los datos de rotura de mineral de baja ley fueron extraídos de las explotaciones mensuales desde el modelo de bloques a corto plazo, son validados por el área de geología y planeamiento.

3.6.4 Información de modelo de reservas a CP

La información del modelo de reservas a CP, es sumamente importante, porque de ahí se observa las zonas de mineral de baja ley, que necesariamente son extraídas para continuar con la explotación del tajo, o también el mineral de baja ley pueden provenir de labores de exploración y desarrollo.

El Departamento de Ingeniería y Planeamiento de Minera Bateas realiza el cálculo de reservas, tomando como base, el modelo de recursos a CP, proporcionado por el área de modelamiento de geología.

3.6.5 Precio histórico de los *commodities*

El precio de los *commodities* es otro de los parámetros importantes, que marcara el punto de equilibrio, donde menor a ello se denomina minerales de baja ley. Con el alza o baja de precios de los metales varía el *becoff* para realizar el cálculo de reservas, a consecuencia nuestro límite de minerales de baja ley. Por ende el inventario de reservas de mineral de baja ley y reservas extraíbles varía.

3.6.6 Información del *becoff*

Los costos son uno de los parámetros más importantes para la determinación del mineral de baja ley. Definimos el término de *becoff* que es el costo total de mina, es decir, incluye costos variables y fijos. Una empresa

minera se vuelve más rentable si mantiene sus costos controlados y trata de minimizarlos.

Estos costos son proporcionados por el área de costos y presupuesto, para su posterior calculo con el tonelaje extraído de mina y tratamiento planta.

3.7 Materiales

Los materiales empleados en el trabajo de investigación son los siguientes:

Material de escritorio.

- Material de papelería.
- Material bibliográfico.
- Equipos de cómputo (Laptop).
- Software (DATAMINE, AutoCAD, Excel, Word y Power Point).
- Asesoría para el desarrollo de la investigación.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 *Becoff* o costos totales Minera Bateas

Minera Bateas ha denominado como *becoff* el costo por tonelada procesada que debe cubrir la ley de corte de reservas. Los componentes que se utilizan para estimar el *becoff* han sido sujetos a discusiones año tras año, sin embargo tradicionalmente se ha incluido la totalidad del costo total. Para efectos del presente análisis denominaremos esta ley de corte como *becoff* tradicional ($Becoff_{tra}$).

$$Becoff_{tra} \text{ (US\$/tTM)} = C_m + C_p + C_{sg} + C_{s\&a} + C_{vt} + C_{rc} + C_{mg}$$

Dónde:

- C_m : Costo mina
- C_p : Costo planta
- C_{sg} : Costo servicios generales
- $C_{s\&a}$: Costo de servicios administrativos
- $C_{v\&t}$: Costo de venta y transporte de concentrados
- C_{rc} : Costo gastos en relaciones comunitarias y otros
- C_{mg} : Costo *management fee*

4.1.1 Costo en mecanizado

El *becoff* en mecanizado para 2 tipos de perforación *breasting* o horizontal y realce o semivertical.

Becoff mecanizado *breasting*: Viene dado por: Ver Tabla 4.1 y 4.2.

Tabla 4:1 Valor de *becoff* mecanizado *breasting*

Descripción	Actividad	Unidad	Total
Mina			37.2
	Supervisión mina	(US\$/TM)	1.1
	Acarreo y carguío	(US\$/TM)	0.6
	Energía	(US\$/TM)	2.1
	Explotación	(US\$/TM)	11.6
	Preparación	(US\$/TM)	5.1
	Relleno	(US\$/TM)	3.4
	Servicios auxiliares	(US\$/TM)	2.7
	Sostenimiento	(US\$/TM)	6.9
	Transporte	(US\$/TM)	3.7
Planta		(US\$/TM)	13.2
Servicios generales		(US\$/TM)	9.1
Servicios administrativos mina		(US\$/TM)	5.4
Venta y transporte		(US\$/TM)	9.3
Expenses		(US\$/TM)	1.3
<i>Management fee</i>		(US\$/TM)	0.2
<i>Becoff</i>		(US\$/TM)	75.7

Fuente: *Elaboración propia*

Becoff Mecanizado Realce: Viene dado por:

Tabla 4:2 Valor de *becoff* mecanizado realce

Descripción	Actividad	Unidad	Total
Mina			33.5
	Supervisión mina	(US\$/TM)	1.0
	Acarreo y carguío	(US\$/TM)	0.9
	Energía	(US\$/TM)	1.9
	Explotación	(US\$/TM)	11.9
	Preparación	(US\$/TM)	5.6
	Relleno	(US\$/TM)	3.5
	Servicios auxiliares	(US\$/TM)	2.4
	Sostenimiento	(US\$/TM)	3.1
	Transporte	(US\$/TM)	3.3

Planta	(US\$/TM)	12.7
Servicios generales	(US\$/TM)	8.9
Servicios administrativos mina	(US\$/TM)	5.2
Venta y transporte	(US\$/TM)	9.4
Expenses	(US\$/TM)	1.2
Management fee	(US\$/TM)	0.2
<i>Becoff</i>	(US\$/TM)	71.2

Fuente: Elaboración propia

El valor del *becoff* para la explotación mecanizada en *breasting* y realce es de 75.7 y 71.2 US\$/TM, respectivamente, estos valores incluyen todos los costos y fueron tomados del acumulado anual.

Para el cálculo de los costos en dólares por tonelada, se tiene en cuenta que el costo de mina es dividido por el tonelaje de extracción mina, los costos de servicios generales, administración, planta, transporte, gastos (*expenses*) y administración Lima (*management fee*) son divididos por el tonelaje tratado.

Para fines de cálculo de mineral de baja ley se tomó en cuenta 76 y 72 US\$/t, para *breasting* y *realce*, respectivamente.

4.1.2 Costo en semimecanizado

Becoff Semimecanizado Realce: Viene dado por: Ver Tabla 4.3.

Tabla 4:3 Valor de *becoff* semimecanizado realce

Descripción	Actividad	Unidad	Total
Mina			39.6
	Supervisión mina	(US\$/TM)	1.2
	Acarreo y carguío	(US\$/TM)	0.4
	Energía	(US\$/TM)	2.3
	Explotación	(US\$/TM)	15.7
	Preparación	(US\$/TM)	1.3
	Relleno	(US\$/TM)	6.1
	Servicios auxiliares	(US\$/TM)	2.8
	Sostenimiento	(US\$/TM)	5.5
	Transporte	(US\$/TM)	4.1

Planta	(US\$/TM)	13.4
Servicios generales	(US\$/TM)	9.4
Servicios administrativos mina	(US\$/TM)	5.5
Venta y transporte	(US\$/TM)	9.1
Expenses	(US\$/TM)	1.3
<i>Management fee</i>	(US\$/TM)	0.2
<i>Becoff</i>	(US\$/TM)	78.4

Fuente: Elaboración propia

En este caso los costos de rotura, explotación, soporte y relleno serán variables, ya que dependerán de la potencia de la veta. El costo semimecanizado será mayor al mecanizado debido a que se duplicará el sostenimiento y voladura, el primer sostenimiento después de la voladura del mineral y el segundo después de la voladura para el descaje del desmonte.

El valor del *becoff* para la explotación semimecanizada en realce es de 78.4 US\$/TM, este valor incluye todos los costos. Estos valores fueron tomados del acumulado anual. Para fines de cálculo de mineral de baja ley se tomó en cuenta 79 US\$/TM.

4.1.3 Costo en convencional.

Becoff Convencional Realce: Viene dado por: Ver Tabla 4.4.

Tabla 4:4 Valor de becoff convencional realce

Descripción	Actividad	Unidad	Total
Mina			60.4
	Supervisión mina	(US\$/TM)	1.2
	Acarreo y carguío	US\$/TM	4.8
	Energía	US\$/TM	1.9
	Explotación	US\$/TM	20.5
	Preparación	US\$/TM	18.7
	Relleno	US\$/TM	5.6
	Servicios auxiliares	US\$/TM	2.8
	Sostenimiento	US\$/TM	0.8
	Transporte	US\$/TM	4.1

Planta	US\$/TM	14.1
Servicios generales	US\$/TM	9.7
Servicios administrativos mina	US\$/TM	5.5
Venta y transporte	US\$/TM	8.1
Expenses	US\$/TM	1.3
<i>Management fee</i>	US\$/TM	0.2
<i>Becoff</i>	US\$/TM	99.3

Fuente: Elaboración propia

El valor del *becoff* para la explotación convencional en realce es de 99.3US\$/TM, este valor incluye todos los costos. Estos valores fueron tomados del acumulado anual. Para fines de cálculo de mineral de mineral de baja ley se tomó en cuenta 100US\$/TM.

Como resumen tenemos el siguiente cuadro: Ver Tabla 4.5.

Tabla 4:5 Resumen del valor del *becoff* por tipo de explotación

Variante Método Explotación	Tipo de Perforación	<i>Becoff</i> (US\$/TM)
Mecanizado	<i>Breasting</i>	76
	<i>Realce</i>	72
Semimecanizado	<i>Realce</i>	79
Convencional	<i>Realce</i>	100

Fuente: Elaboración propia

4.2 Net Smelter Return (NSR) Minera Bateas

Es el ingreso neto que el propietario de una propiedad minera recibe de la venta de los productos metálicos de la mina menos los costos de refinación.

Para calcular el NSR o beneficio económico neto, se necesitan los siguientes datos:

- Precio de los commodities
- Recuperación metalúrgica
- Términos comerciales (Maquila, deducción, pagable, ley pagable, cargo por refinación y ley de concentrado), Ver Anexo A – Tabla A.3

En Minera Bateas el *Net Smelter Return*, que iguala los costos totales. EL NSR normalmente se expresa en US\$/TM (dólares Americanos por tonelada procesada) y su fórmula es:

$$\mathbf{NSR = M1 * FP1 *(PM1 - CR1) + \dots Mn * FPn *(PMn - CRn) - MT}$$

En donde:

M1 : Contenido de metal 1 (expresado en onzas/TM, libras/TM, g/TM)

FP1 : Factor de deducción para el metal pagable 1 (expresado como un porcentaje, normalmente representa una deducción para reflejar las pérdidas de metal del proceso de refinación)

PM1 : Precio del metal 1 (expresado en US\$/oz, US\$/lb, US\$/TM, etc.)

CR1 : Cargos por refinación del metal 1 (expresado en US\$/oz, US\$/lb, US\$/TM, etc.)

Mn : Contenido de metal n (expresado en onzas/t, libras/t, g/TM, etc.)

FPn : Factor de deducción para el metal pagable n (expresado como un porcentaje, normalmente representa una deducción para reflejar las pérdidas de metal del proceso de refinación)

PMn : Precio del metal n (expresado en US\$/oz, US\$/lb, US\$/TM, etc.)

CRn : Cargos por refinación del metal (expresado en US\$/oz, US\$/lb, US\$/TM, etc.)

MT : Maquila para tratamiento de concentrados (expresado en US\$/TM utilizando factores para convertir cuántas tonelada de concentrado se producen por cada tonelada procesada)

De la ecuación anterior se deduce que:

$$\mathbf{VP = FP1 *(PM1 - CR1) + FPn *(PMn - CRn)}$$

Todos estos datos son cálculos en una tabla Valor Punto (VP)

4.2.1 Valor punto

Es una tabla de cálculo que nos permite calcular los coeficientes para obtener los NSR de mineral. En Pb: US\$/%, Zn: US\$/%, Ag: US\$/g y Au: US\$/g.

Valores punto LP 2017 son:

VP Pb = 15.3 US\$/%

VP Zn = 12.98 US\$/%

VP Ag = 0.45 US\$/g

VP Au = 7.53 US\$/g.

De la ecuación anterior se dedujo y se llega a la siguiente formula.

$$NSR \left(\frac{US\$}{TM} \right) = Ley Ag \left(\frac{g}{TM} \right) * VP Ag \left(\frac{US\$}{g} \right) + Ley Au \left(\frac{g}{TM} \right) * VP Au(US\$/g) + Ley Pb(\%/TM) * VP Pb(US\$/\%) + Ley Zn(\%/TM) * VP Zn(US\$/\%)$$

Valor punto para concentrado Zinc y Plomo. Ver Tabla 4.6 y 4.7

Tabla 4:6 Valor punto para concentrado zinc y plomo.

ZINC , PLOMO			
		Zinc	Plomo
Concentrado			
Precio de mercado	US\$/TM	2,300	2,150
Ley en el concentrado	%	50.00	55.00
Pagable	%	85.00	95.00
Deducción mínima	%	8.00	3.00
Ley pagable	%	42.00	52.00
Pago por tonelada	US\$/TM	966	1,118
Maquila	US\$/TM	-160.00	-185.00
Escalador1	US\$/TM	-22.50	-22.50
Escalador2	US\$/TM	-62.50	-25.00
Escalador3	US\$/TM	0	0
Penalidades	US\$/TM	0	0
Cargos totales	US\$/TM	-245	-233
Valor del concentrado	US\$/TM	721	886
Recuperación metalúrgica	%	90.00	94.00
Valor punto	US\$/%	12.98	15.13

Fuente: Departamento de Planeamiento & Ingeniería MIBSAC

Valor punto para Ag y Au.

Tabla 4:7 Valor punto para concentrado Ag y Au

PLATA Y ORO			
		Plata	Oro
Precio de mercado	US\$/oz	19.00	1,140
Pagable	%	95.00	95.00
Cargo por refinación	US\$/oz	1.50	20.00
Escalador 1	US\$/oz	0.30	
		Plata	Oro
		US\$/oz	US\$/oz
Valor por onza	US\$/oz	19.00	1,140
Recuperación metalúrgica	US\$/oz	16.15	250.80
Metal pagable	US\$/oz	15.34	238.26
Cargo por refinación	US\$/oz	13.89	234.08
Recuperación metalúrgica	%	85.0	22.0
Valor por oz	US\$/oz	13.89	234.08
Valor por g	US\$/g	0.45	7.53

Fuente: Departamento de Planeamiento & Ingeniería MIBSAC

4.3 Recursos y reservas Minera Bateas

4.3.1 Recursos Minera Bateas

Los recursos calculados en Minera Bateas hasta junio del 2016. Ver Tabla 4.8.

Tabla 4:8 Recursos evaluados Minera Bateas – Junio 2016 en (TM)

Recursos	Evaluados	Excluidos	Incluidos	Puentes	No accesibles	Total
Veta						
Animas Central	1,779,286	1,078,796	457,749	110,411	132,331	1,779,286
Animas NE	1,726,079	730,322	796,425	107,804	91,529	1,726,079
Ramal Techo ASNE	32,488	16,625	0	0	15,862	32,488
San Cristóbal	140,975	89,072	30,818	0	21,086	140,975
Bateas	77,429	54,737	11,360	3,169	8,163	77,429
Bateas Piso	1,698	1,097	206	0	396	1,698
Bateas Techo	0	0	0	0	0	0
Cimoide La Plata	26,404	15,385	10,468	0	552	26,404
La Plata	21,686	11,928	7,067	2,002	690	21,686
Santa Catalina	24,624	24,601	0	0	23	24,624
Silvia	22,065	22,065	0	0	0	22,065
Soledad	77,590	59,833	6,165	7,817	3,775	77,590
Total	3,930,326	2,104,461	1,320,257	231,203	274,405	3,930,326

Fuente: Departamento de Planeamiento & Ingeniería MIBSAC

A continuación se define los recursos.

Evaluados: Se consideran todo los recursos medidos e indicados, los cuales suman 3, 930,326 TM.

Excluidos: Son los recursos cuyo valor diluido está por debajo del *break even becoff*. Estos recursos se deberían mantenerse, ya que, al variar algunos de los parámetros principalmente el precio de los *commodities*, estos podrían ingresar al inventario de reservas, las cuales suman 2,104,461 TM, como se observa en la Tabla 4:9.

Tabla 4:9 Resumen de recursos excluidos

Veta	Categoría	TM	Ag (g/TM)	Au (g/TM)	Pb(%)	Zn(%)	NSR (US\$/TM)
Animas	Medido	427,000	63	0.31	1.11	2.53	80
Animas NE	Medido	98,000	62	0.24	1.38	2.79	87
Animas (Oxide)	Medido	37,000	110	0.24	0.86	1.45	83
Animas NE (Oxide)	Medido	8,000	112	0.35	1.68	1.77	101
Bateas	Medido	10,000	362	0.06	0.44	0.63	177
Bateas Piso	Medido	600	360	0.14	0.13	0.22	167
Ramal Techo ASNE	Medido	1,100	45	0.11	2.28	4.83	118
Santa Catalina	Medido	7,000	152	1.11	1.86	2.36	135
Silvia	Medido	6,000	131	0.54	2.48	3.56	146
Soledad	Medido	22,000	264	1.51	1.38	1.74	173
Total Recursos Medidos		615,000	80	0.34	1.17	2.45	88
Animas	Indicado	553,000	53	0.28	1.18	2.64	78
Animas NE	Indicado	495,000	58	0.27	1.43	2.57	83
Animas (Oxide)	Indicado	62,000	127	0.33	0.70	1.43	88
Animas NE (Oxide)	Indicado	130,000	83	0.36	1.80	2.18	95
Bateas	Indicado	45,000	372	0.11	0.21	0.34	175
Bateas Piso	Indicado	500	439	0.09	0.10	0.18	201
Cimoide La Plata	Indicado	15,400	391	1.62	0.00	0.01	187
La Plata	Indicado	12,000	364	0.70	0.03	0.01	168
Ramal Techo ASNE	Indicado	16,000	44	0.11	1.44	3.28	85
San Cristobal	Indicado	89,000	143	0.17	0.38	0.61	79
Santa Catalina	Indicado	18,000	154	1.25	1.72	2.34	135
Silvia	Indicado	16,000	119	0.62	2.07	3.48	134
Soledad	Indicado	38,000	238	1.38	1.69	1.81	166
Total Recursos Indicados		1,489,000	88	0.33	1.23	2.28	90
Total Medidos + Indicados		2,104,000	86	0.33	1.21	2.33	89

Fuente: Departamento de Planeamiento & Ingeniería MIBSAC

Incluidos: Son los recursos que son económicamente, técnicamente y legalmente explotables, es decir son los recursos que se convirtieron en reservas minerales, las cuales suman 1, 320,257 TM.

Puentes: Son los recursos que están incluidos dentro de los puentes de seguridad entre niveles. Hay una ligera variación, ya que, se han descartado algunos puentes a dejar en el minado las cuales suman 231,203 TM.

No accesibles: Son los recursos cuyo valor diluido está por encima del punto de *break even becoff*, pero estos se encuentran aislados y/o dispersos, por lo cual no es rentable su extracción 274,405 TM.

4.3.2 Reservas Minera Bateas

Las reservas obtenidas de la estimación hasta julio del 2016, son como se muestra en la Tabla 4:10.

Tabla 4:10 Resumen reservas probadas y probables julio – 2016

Veta	TM	Ag (g/TM)	Au (g/TM)	Pb(%)	Zn(%)	NSR (US\$/TM)	Width (m)	Dil. (%)
Ánimas Sulfuros	107,000	70	0.20	2.10	3.60	111	5.4	27%
Ánimas Óxidos	37,000	165	0.31	0.87	1.36	107	6.2	22%
Ánimas NE Sulfuros	85,000	77	0.23	2.15	3.32	112	5.6	25%
Ánimas NE Óxidos	29,000	137	0.50	2.35	2.70	135	6.5	22%
Bateas	2,000	774	0.35	0.14	0.24	353	1.0	40%
Soledad	5,000	474	3.22	0.41	0.64	250	1.3	40%
Total Reservas Probadas	265,000	105	0.31	1.93	3.02	117	5.6	26%
Ánimas Sulfuros	437,000	55	0.19	1.87	3.39	98	4.6	26%
Ánimas Óxidos	48,000	137	0.31	1.11	1.91	105	4.3	28%
Ánimas NE Sulfuros	692,000	78	0.14	3.17	4.12	137	6.9	23%
Ánimas NE Óxidos	230,000	97	0.35	2.84	2.59	122	5.8	22%
Bateas	17,000	561	0.12	0.09	0.18	255	0.6	40%
Bateas Piso	300	775	0.25	0.09	0.14	351	0.4	40%
Cimoide La Plata	17,000	561	3.32	0.01	0.01	276	2.2	40%
La Plata	12,000	1,617	1.56	0.00	0.00	734	2.8	40%
San Cristóbal	52,000	242	0.05	0.05	0.09	110	2.4	37%
Soledad	6,000	335	5.26	0.44	0.59	204	1.0	40%
Total Reservas Probables	1,512,000	106	0.26	2.47	3.33	130	5.6	25%
Total Reservas	1,777,000	106	0.27	2.39	3.28	128	5.6	25%

Fuente: Departamento de Planeamiento & Ingeniería MIBSAC

4.4 Mineral de baja ley en Minera Bateas.

Actualmente en la explotación de la veta Ánimas se pasa por zonas de mineral marginal “Baja Ley”, este mineral es transportado a canchas y en algunos casos es usado como relleno detrítico. Aplicando el concepto de “Opciones Reales” en la evaluación de proyectos uno de los más importantes parámetros es la variabilidad del precio de los *commodities*. Se demuestra en base a simulaciones que podemos encontrar una proporción en el tratamiento metalúrgico de mineral de alta ley y baja ley que maximiza las utilidades en una empresa minera.

En nuestro caso asumimos como costo hundido asociado a la explotación de este mineral marginal, debido que necesariamente debemos de pasar por estos tramos para llegar a las zonas de mejor ley. Entonces para su tratamiento sólo se le carga los costos de planta y transporte.

Se llama mineral de baja ley cuyo NSR sea menor al *becoff*, de cada variante de explotación y tipo de perforación como se muestra en la Tabla 4:11

Tabla 4:11 Break even *becoff* para mineral de baja ley

Mineral	Variante método explotación	Tipo de Perforación	<i>Becoff</i> (US\$/TM)
Baja Ley	Mecanizado	<i>Breasting</i>	<76
		<i>Realce</i>	<72
	Semimecanizado	<i>Realce</i>	<79
		Convencional	<i>Realce</i>

Fuente: Departamento de Planeamiento & Ingeniería MIBSAC

4.4.1 Mineral acumulado en canchas.

Actualmente en Minera Bateas, contamos con mineral de baja ley acumulado en canchas, con NSR muy cercanos al *becoff*. Las cuales en casos muy particulares se usa para realizar *blending* o en la mayoría de los casos se

usa, cuando no hay mineral en *stock* para alimentar a planta, en otro caso se destina para procesarlo cuando termine la vida de la mina. Estas ideas del uso del mineral de baja ley en la actualidad no son las mejores.

Usando teoría de opciones reales, el mineral de baja ley se puede adelantar su procesamiento, porque al mineral de canchas solo se le carga el costo de transporte y procesamiento planta, por ende los costos operativos son menores, consecuentemente aumentamos las ganancias de la empresa minera, lo cual es el reto del negocio minero.

En Minera Bateas actualmente no se tiene un control riguroso del mineral de baja ley, solo un 45% es destinado a canchas y el resto es usado como relleno a tajos, la cual no es la mejor opción. Ver Tabla 4.12.

A continuación presentamos mineral de canchas acumulado a junio 2017.

Tabla 4:12 Mineral de baja ley acumulado por meses

Meses	TM	Ag(g/TM)	Au(g/TM)	Pb(%)	Zn(%)	NSR (US\$/TM)
Enero	14,135	29	0.07	0.78	1.56	50
Febrero	14,048	24	0.01	0.89	1.47	48
Marzo	15,097	21	0.01	0.80	1.30	50
Abril	11,687	66	0.00	0.93	0.94	65

Fuente: Departamento de Planeamiento & Ingeniería MIBSAC

Como se observa, en la Tabla 4:12, la extracción de mineral por meses no es constante, por falta de control riguroso. Un dato importante que se observa son los NSR que tienen, son muy cercanos al *becoff*, lo cual nos lleva la idea de obtener mayores márgenes de ganancia sí incluimos el mineral de canchas al plan de tratamiento metalúrgico anual.

4.4.2 Mineral de baja ley extraído del modelo de bloques

Se considera minera de baja ley al mineral proveniente del intermedio de los tajos económicos, labores de desarrollo, explotación y preparación. En el caso de los tajos de explotación, la rotura es necesaria para poder acceder a las zonas económicas por eso el costo de rotura, sostenimiento y otros se tienen que asumir de todas maneras como se observa en la Figura 4:1 y 4:2.

El mineral marginal en su totalidad debe ser acumulado en canchas para ser tratado en un futuro, de modo que para el largo plazo sí se desea tratar este mineral sólo se asumen los costos de transporte y tratamiento los demás costos serán considerados como hundidos.

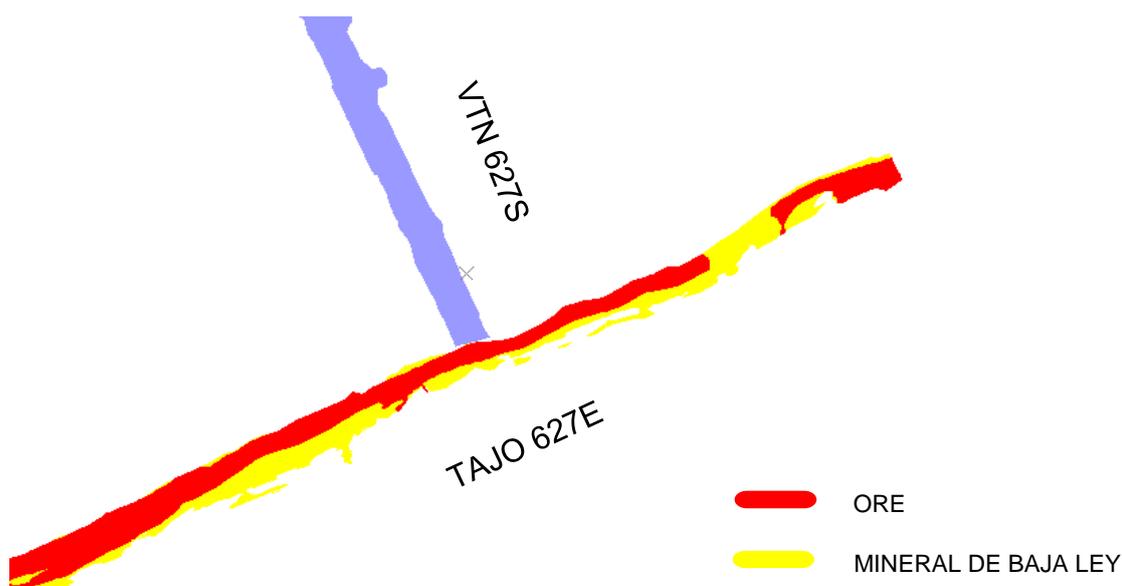


Figura 4:1 Mineral de baja ley extraído de tajos
Fuente: Elaboración propia

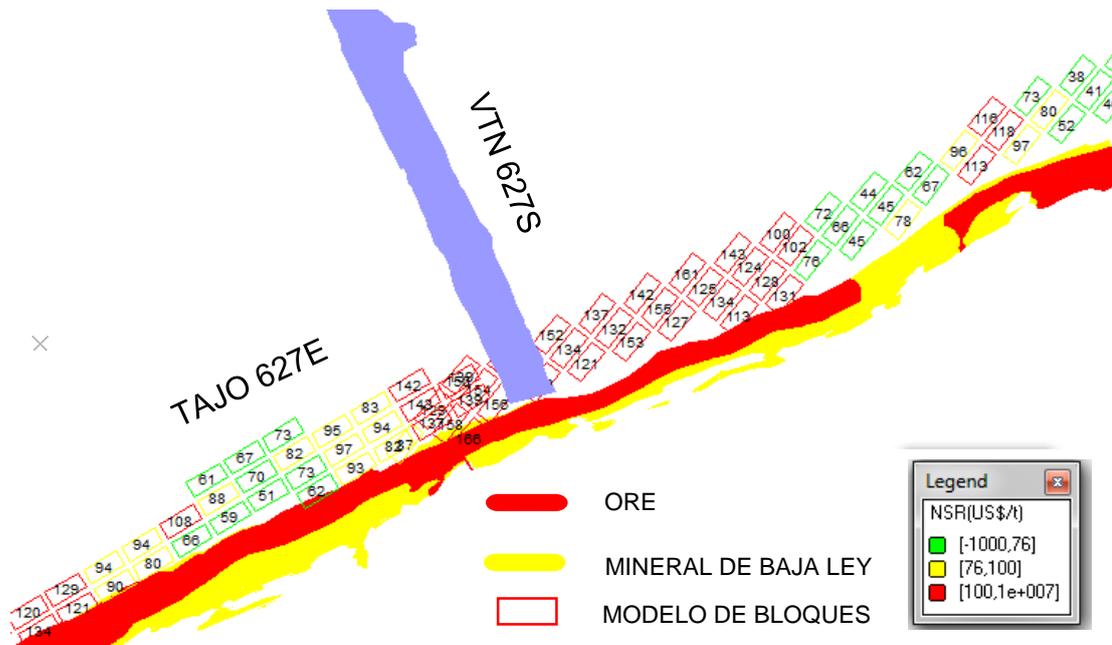


Figura 4:2 Mineral de baja ley extraído de tajos y MB
Fuente: Elaboración propia

Como se puede apreciar en la Figura 4:2, del TAJO 427E del Nv 13, de la veta Ánimas. La explotación del tajo es corte y relleno mecanizado, el tipo de perforación es en *breasting*, acorde los parámetros descritos el *becoff* para el tajo es de 76 US\$/TM.

Al lado Este del TAJO 627E, se aprecia un tramo de mineral de baja ley; el modelo de bloques a CP sustenta el tramo de baja ley, la cual tiene que continuar su explotación para poder extraer el mineral de alta ley que se encuentra más al extremo por ende los costos del tramo de mineral de baja ley necesariamente tienen que ser asumidos. Ver Tabla 4.13.

A continuación mostraremos la rotura de mineral de baja ley, en los últimos seis meses las cuales fueron acumulados en canchas y usado como relleno en tajos extraídos desde el MB según el procedimiento (Vilavila, 2017).

Tabla 4:13 Rotura de mineral de baja ley Noviembre 2016 – Abril 2017

Año	Mes	Veta	TM	Ag (g/TM)	Au (g/TM)	Pb(%)	Zn(%)	NSR (US\$/TM)
2016	Noviembre		4,102	38	0.12	1.45	2.32	69.9
		Animas Central	924	46	0.15	1.55	2.25	74.4
		Animas Noreste	3,178	36	0.11	1.42	2.34	68.6
	Diciembre		4,078	37	0.12	1.13	2.52	67.2
2017		Animas Central	634	23	0.15	0.85	3.04	63.8
		Animas Noreste	3,444	39	0.11	1.18	2.43	67.8
	Enero		4,105	46	0.12	1.23	2.23	69.1
		Animas Central	993	48	0.14	1.12	2.41	71.0
		Animas Noreste	3,112	46	0.12	1.27	2.17	68.5
	Febrero		3,902	33	0.12	1.28	2.37	66.0
		Animas Central	511	28	0.12	1.13	3.41	75.0
		Animas Noreste	3,391	34	0.12	1.30	2.21	64.6
	Marzo		3,810	49	0.16	1.28	1.84	66.3
		Animas Central	812	35	0.10	1.13	2.43	64.8
		Animas Noreste	2,998	53	0.17	1.32	1.68	66.7
	Abril		3,940	46	0.12	1.26	2.02	66.5
	Animas Central	1,512	49	0.14	1.28	2.28	71.8	
	Animas Noreste	2,428	43	0.10	1.24	1.86	63.2	
Total			23,937	41	0.13	1.27	2.22	67.5

Fuente: Elaboración propia

Se tiene un promedio de 3,990 TM de rotura de mineral de baja ley por mes. La cual representa un 8.7% del tratamiento mensual con valores de Ag (g/TM): 41, Au (g/TM):0.13, Pb (%):1.27 y Zn (%): 2.22 con NSR ponderado de 67.5 US\$/TM, este valor es muy cercano al *becoff*, por ende estos valores contribuirán a incrementar las ganancias de la empresa minera.

Se analizan 2 casos:

- Tratamiento de mineral marginal.
- Variación del precio de los *commodities*.

4.4.3 Caso 01 tratamiento de mineral de baja ley Minera Bateas

Caso 01) a. Plan Base.- Tomando como base el plan de producción del 2017, se calcula el valor de ventas de mineral y los costos totales: Tabla 4.14.

Plan anual base 2017.

Tabla 4:14 Plan anual de tratamiento 2017

Veta	Explotación	TM	Ag (g/TM)	Au (g/TM)	Pb(%)	Zn(%)	NSR (US\$/TM)	Becoff (US\$/TM)
Animas	Semimecanizado	17,410	125	0.30	1.41	2.07	106	79
	Mecanizado	468,970	70	0.13	2.82	3.90	126	76
	Convencional	16,195	51	0.14	2.07	2.90	92	90
Total		502,575	71	0.13	2.74	3.80	124	76
Nancy	Mecanizado	32,925	69	0.64	2.46	4.65	133	75
Total		32,925	69	0.64	2.46	4.65	133	75
Total		535,500	71	0.17	2.73	3.86	124	76

Fuente: Departamento Planeamiento & Ingeniería MIBSAC

*El becoff calculado para tajos convencionales es de 100 US\$/TM, sin embargo para los tajos programados se considera 90 US\$/TM, porque el 40% de las preparaciones están realizadas. Tabla 4.15.

El detalle del plan de producción, se puede ver en el Anexo A – Tabla A.1

Valor de Mineral

Tabla 4:15 Valor de mineral del plan de tratamiento 2017

Veta	Explotación	TM	Ag (g/TM)	Au (g/TM)	Pb(%)	Zn(%)	NSR (US\$/TM)	VM (US\$)
Animas	Semimecanizado	17,410	125	0.30	1.41	2.07	106	1,853,930
	Mecanizado	468,970	70	0.13	2.82	3.90	126	58,866,868
	Convencional	16,195	51	0.14	2.07	2.90	92	1,497,213
Total		502,575	71	0.13	2.74	3.80	124	62,218,012
Nancy	Mecanizado	32,925	69	0.64	2.46	4.65	133	4,388,577
Total		32,925	69	0.64	2.46	4.65	133	4,388,577
Total		535,500	71	0.17	2.73	3.86	124	66,606,589

Fuente: Elaboración propia

El valor de mineral US\$ es calculado por la siguiente formula: Tabla 4.16.

$$VM = \text{Ton} * \text{NSR}(\text{US}/\text{ton})$$

Donde:

Ton (t) = Tonelaje

NSR (US\$/ton) = Net Smelting Return

Costos totales

Tabla 4:16 Costos totales del plan de tratamiento 2017

Veta	TM	Ag (g/TM)	Au (g/TM)	Pb(%)	Zn(%)	Becoff (US\$/TM)	OPEX (US\$)
	17,410	125	0.30	1.41	2.07	79	1,375,377
Animas	468,970	70	0.13	2.82	3.90	76	35,519,558
	16,195	51	0.14	2.07	2.90	90	1,457,579
Total	502,575	71	0.13	2.74	3.80	76	38,352,514
Nancy	32,925	69	0.64	2.46	4.65	75	2,478,021
Total	32,925	69	0.64	2.46	4.65	75	2,478,021
Total	535,500	71	0.17	2.73	3.86	76	40,830,535

Fuente: Elaboración propia

Los OPEX o Costo totales en US\$ es calculado por la siguiente formula:

$$\text{OPEX} = \text{Ton}(t) * \text{Becoff}(\text{US}\$/t)$$

Donde:

Ton (t) = Tonelaje

Becoff (US\$/t) = Costo total por tonelada extraída de mineral y el margen de ganancia anual está dado por: Tabla 4.17.

$$\text{MGB Anual} = \text{VM} (\text{US}\$) - \text{OPEX}(\text{US}\$)$$

Donde:

MGB Anual = Margen de ganancia bruta anual

OPEX = Costos totales US\$

VM = Valor de venta del mineral US\$

$$\text{MGB Anual} = 66,606,589 \text{ US}\$ - 40,830,535 \text{ US}\$$$

$$\text{MGB Anual} = 25,776,054 \text{ US}\$$$

Caso 01) b. Plan alternativo

Tabla 4:17 Plan alternativo Incluyendo mineral de baja ley

Veta	TM	Ag (g/TM)	Au (g/TM)	Pb(%)	Zn(%)	NSR (US\$/TM)	Becoff (US\$/TM)
Animas	455,775	71	0.13	2.74	3.80	124	76
Nancy	32,925	69	0.64	2.46	4.65	133	75
Total Plan	488,700	71	0.17	2.72	3.86	124	76
Mineral marginal Animas	46,800	41	0.13	1.27	2.22	67.5	16.5
Total	535,500	69	0.16	2.60	3.72	119	71

Fuente: Elaboración propia

La rotura mensual de producción promedio es de 3,990 TM de mineral de baja ley como se muestra en la Tabla 4:13, de las cuales sólo se está incluyendo al plan de tratamiento metalúrgico 3,900 TM, obteniéndose al año 46,800 TM. Esta representa el 8.7% del tratamiento anual en Minera Bateas. Ver Tabla 4.18.

Valor de mineral

Tabla 4:18 Valor de mineral del plan incluido mineral de baja ley

Veta	TM	Ag (g/TM)	Au (g/TM)	Pb(%)	Zn(%)	NSR (US\$/TM)	VM (US\$)
Animas	455,775	71	0.13	2.74	3.80	124	56,424,243
Nancy	32,925	69	0.64	2.46	4.65	133	4,388,577
Total Plan	488,700	71	0.17	2.72	3.86	124	60,812,820
Mineral marginal Animas	46,800	41	0.13	1.27	2.22	67.5	3,160,167
Total	535,500	69	0.16	2.60	3.72	119	63,972,987

Fuente: Elaboración propia

Como se aprecia en la Tabla 4:18, el valor del mineral del plan alternativo disminuye hasta 63, 972,987 US\$ con respecto al plan original, ésta nos genera una perdida en valor de venta de mineral en 2,633,602 US\$, el cual se genera por el NSR bajo del mineral de baja ley. Ver Tabla 4.19.

Costos totales

Tabla 4:19 Costos totales del plan incluido mineral de baja ley

Veta	TM	Ag (g/TM)	Au (g/TM)	Pb(%)	Zn(%)	Becoff (US\$/TM)	OPEX (US\$)
Animas	455,775	71	0.13	2.74	3.80	76	34,781,111
Nancy	32,925	69	0.64	2.46	4.65	75	2,478,021
Total Plan	488,700	71	0.17	2.72	3.86	76	37,259,132
Mineral marginal Animas	46,800	41	0.13	1.27	2.22	16.5	772,200
Total	535,500	69	0.16	2.60	3.72	71	38,031,332

Fuente: Elaboración propia

Como se aprecia en la tabla 4:19, los costos totales son 38,031,332 US\$. De manera que es 2,799,203 US\$ menos que el plan anual. Esto indica un ahorro significativo en costos totales.

Margen de Ganancia anual

El margen de ganancia anual estará dado por:

$$MGB \text{ Anual} = 63,972,987 \text{ US\$} - 38,031,332 \text{ US\$}$$

$$MGB \text{ Anual} = 25,941,655 \text{ US\$}$$

$$\Delta MGB \text{ Anual} = MGB \text{ Plan alternativo} - MGB \text{ Plan Original}$$

$$\Delta MGB \text{ Anual} = 25,941,655 - 25,776,054$$

$$\Delta MGB \text{ Anual} = 165,605 \text{ US\$}$$

Como se aprecia en la ecuación anterior el margen de ganancia respecto al plan original que nos genera la inclusión del mineral de baja ley al plan de tratamiento anual es de: 165,605 US\$. Ver Tabla 4.20 y Figura 4.3.

Variación de obtención de márgenes de ganancia acorde a los NSR, Caso 01 b

Tabla 4:20 Puntos de variación de MG vs NSR, Caso 01, b

NSR (US\$/TM)	MG (US\$)	DESCRIPCION
63	-46,166	
63.9	0	MG=0
64	634	
64.5	24,034	
65	47,434	
66	94,234	
67.5	165,601	Mineral Baja Ley
69	234,634	
71	328,234	
73	421,834	
74	468,634	
75	515,434	
76	562,234	NSR <76 Baja Ley

Fuente Elaboración propia

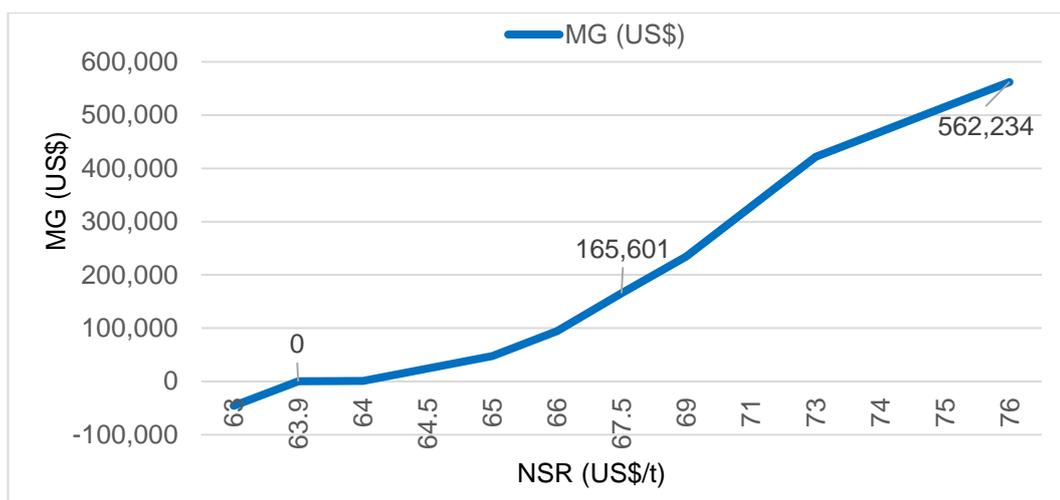


Figura 4:3 Gráfica de MG vs NSR, Caso 01, b
Fuente: Elaboración propia

En la Figura 4:3 se observa que hasta un NSR de 63.9 US\$/TM, se obtiene un margen de ganancia de cero respecto al plan anual base, para obtener mayores márgenes de ganancia se tiene que incluir al plan de tratamiento mineral de baja ley con NSR > 63.9 US\$/TM.

Caso 01) c. Plan alternativo.- Actualmente en los primeros cuatro meses de producción las leyes de Pb y Zn, son superiores a lo programado y en el caso de la plata tiene una caída, como se aprecia en la Tabla 4:21. Ejecutado vs planeado enero – abril 2017.

Tabla 4:21 Plan de tratamiento vs ejecutado Enero – Abril 2017

Valores	Enero	Febrero	Marzo	Abril
t	43,500	42,000	46,500	42,000
Ag(g/TM)	72	74	70	73
Planeado Au(g/TM)	0.14	0.14	0.13	0.13
Pb(%)	2.75	2.71	2.78	2.81
Zn(%)	3.82	3.85	3.66	3.82
t	43,500	42,000	46,500	42,000
Ejecutado Ag(g/TM)	76	66	58	55
Au(g/TM)	0.16	0.15	0.14	0.14
Pb(%)	2.77	2.94	2.90	2.82
Zn(%)	4.12	4.35	4.07	3.81

Fuente Elaboración propia

En éste caso se realizó un plan incluyendo mineral de baja ley conjuntamente con las leyes actuales y nos da los resultados que se muestran en la tabla 4.22, 4.23, 4.24 y 4.25.

Tabla 4:22 Plan forecast 2017

Veta	TM	Ag (g/TM)	Au (g/TM)	Pb(%)	Zn(%)	NSR US\$/TM)	Becoff (US\$/TM)
Animas	502,575	67	0.14	2.82	4.03	126	76
Nancy	32,925	69	0.64	2.46	4.65	133	75
Total Forecast	535,500	67	0.17	2.80	4.07	127	76

Fuente Elaboración propia

Plan alternativo

Tabla 4:23 Plan con leyes actuales, forecast y mineral de baja ley

Veta	TM	Ag (g/TM)	Au (g/TM)	Pb(%)	Zn(%)	NSR (US\$/TM)	Becoff (US\$/TM)
Animas	455,775	67	0.14	2.82	4.03	126	76
Nancy	32,925	69	0.64	2.46	4.65	133	75
Total Plan	488,700	67	0.18	2.80	4.07	127	76
Mineral marginal Animas	46,800	41	0.13	1.27	2.22	67.5	16.5
Total	535,500	65	0.17	2.66	3.91	121	71

Fuente: Elaboración propia

Valor de mineral

Tabla 4:24 Valor de mineral del plan forecast y mineral de baja ley

Veta	TM	Ag (g/TM)	Au (g/TM)	Pb(%)	Zn(%)	NSR (US\$/TM)	VM (US\$)
Animas	455,775	67	0.14	2.82	4.03	126	57,485,271
Nancy	32,925	69	0.64	2.46	4.65	133	4,388,577
Total Plan	488,700	67	0.18	2.80	4.07	127	61,873,849
Mineral marginal Animas	46,800	41	0.13	1.27	2.22	67.5	3,160,167
Total	535,500	65	0.17	2.66	3.91	121	65,034,015

Fuente: Elaboración propia

Como se aprecia en la Tabla 4:24, el valor de mineral es más cercano al valor del plan original.

Costos totales de plan con leyes actuales y mineral de baja ley.

Tabla 4:25 Costos totales del plan forecast y mineral de baja ley

Veta	TM	Ag (g/TM)	Au (g/TM)	Pb(%)	Zn(%)	Becoff (US\$/TM)	OPEX (US\$)
Animas	455,775	67	0.14	2.82	4.03	76	34,781,111
Nancy	32,925	69	0.64	2.46	4.65	75	2,478,021
Total Plan	488,700	67	0.18	2.80	4.07	76	37,259,132
Mineral marginal Animas	46,800	41	0.13	1.27	2.22	16.5	772,200
Total	535,500	65	0.17	2.66	3.91	71	38,031,332

Fuente: Elaboración propia

El margen de ganancia anual estará dado por: Tabla 4.26 y Figura 4.4.

$MGB \text{ Anual} = 65,034,015 \text{ US\$} - 38,031,332 \text{ US\$}$

$MGB \text{ Anual} = 27,002,683 \text{ US\$}$

$\Delta MGB \text{ Anual} = MGB \text{ Plan alternativo} - MGB \text{ Plan Original}$

$\Delta MGB \text{ Anual} = 27,002,683 - 25,776,054$

$\Delta MGB \text{ Anual} = 1,226,629 \text{ US\$}$

Tabla NSR del Mineral Marginal y MG anual según el Caso 01, c.

Tabla 4:26 Puntos de variación de utilidad bruta vs NSR Caso 01, c.

NSR (US\$/TM)	MG (US\$)	DESCRIPCION
35	-295,537	
41.31	0	MG=0
41.32	239	
43	78,863	
46	219,263	
49	359,663	
52	500,063	
55	640,463	
58	780,863	
61	921,263	
64	1,061,663	
67.5	1,226,629	Mineral Baja Ley
69	1,295,663	
71	1,389,263	
73	1,482,863	
74	1,529,663	
75	1,576,463	
76	1,623,263	NSR <76 Baja Ley

Fuente: Elaboración propia.

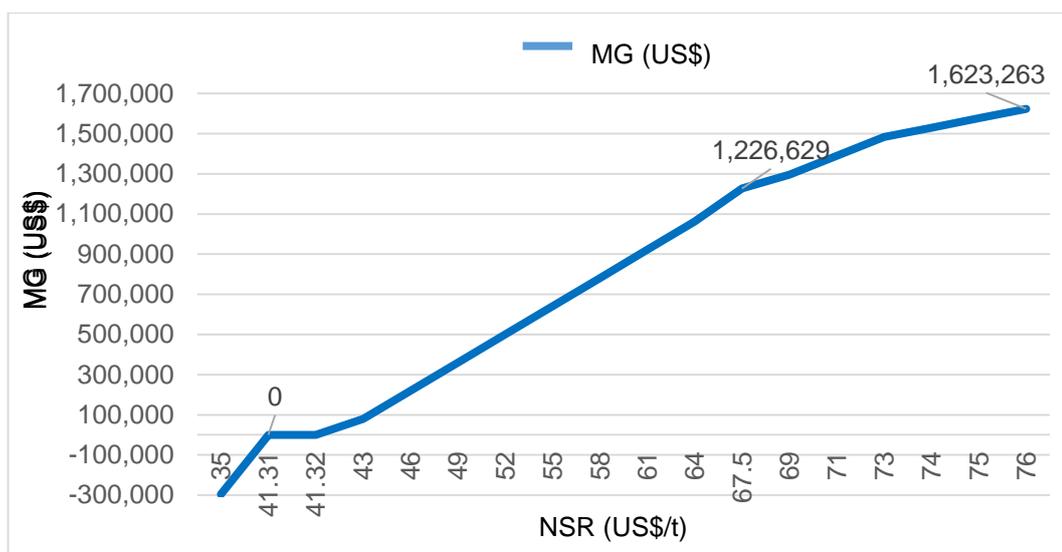


Figura 4:4 Variación de utilidad vs NSR del Caso 01, c.

Fuente: Elaboración propia

Los costos totales son los mismos que el plan alternativo del Caso 01, b. La pérdida en valor de venta de mineral respecto al Caso 01, b es de 1,572,574 US\$, el ahorro en costos totales asciende a 2,799,203 US\$. Realizando la diferencia se obtiene una ganancia bruta anual de: 1, 226,629 US\$, el cual es un monto muy significativo.

En la Figura 4:4 se observa hasta un NSR de 41.3 US\$/TM, obteniéndose un margen de ganancia de cero respecto al plan anual base, para obtener mayores márgenes de ganancia se tiene que incluir al plan de tratamiento, mineral de baja ley con NSR > 41.3 US\$/TM (Tabla 4.27 y 4.28). El detalle del NSR del mineral de baja ley incluida al plan de tratamiento se ve en el Anexo A – Tabla A.2

Tabla 4:27 Resumen de márgenes de ganancia por casos

Casos	VM (US\$)	Costo Total (US\$)	MG (US\$)	Descripción
Caso 01,a	66,606,589	40,830,535	25,776,054	-
Caso 01,b	63,972,987	38,031,332	25,941,655	8.7 % de mineral de baja ley
Caso 01,c	65,034,015	38,031,332	27,002,683	8.7 % de mineral de baja ley

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4:28 Resumen del valor de la flexibilidad por casos

Casos	VM (US\$)	Costo Total (US\$)	Valor de flexibilidad (US\$)	Descripción
Caso 01,a	66,606,589	40,830,535	-	-
Caso 01,b	63,972,987	38,031,332	165,601	8.7 % de mineral de baja ley
Caso 01,c	65,034,015	38,031,332	1,226,629	8.7 % de mineral de baja ley

Fuente: Elaboración propia

Discusiones

Según antecedentes, (Contreras & Fernandez, 2003), En su revista una nueva metodología para la evaluación de proyectos de inversión: las opciones reales. Su investigación se basa en los trabajos realizados por, (Zenteno, 1998; Kettlun, 1999; Espinoza, 2002), donde pone énfasis a las flexibilidades operativas y la incertidumbre del precio de los *commodities*. Diseñó un plan minero base y una estructura de costos afín a la aplicación computacional diseñada por (Zenteno, 1998), obteniendo luego valores para el VPN tradicional y el VPN-OP (con opciones reales). Incluye el 4 % de la reservas marginales al plan de producción, Obteniendo un valor presente neto con opciones reales (VPN OP) superior en 6, 585,760 (US\$), que al evaluar el proyecto con el método tradicional (VPN).

Se demostró con el presente estudio de investigación en los casos 01, b y c se obtuvieron mayores márgenes de ganancia respecto al plan base anual en 165,605 US\$ y 1, 226,629 US\$ respectivamente, en ambos casos se incluyeron el 8.7% de mineral marginal roturado al plan de tratamiento anual. Además en el caso 01 c, incluye leyes ejecutadas enero – abril 2017, a este plan se denomina *forecast*. Se demuestra el valor de la flexibilidad operativa de cambiarle de *becoff* al mineral de baja ley, rescatada por la teoría de opciones reales.

(Torres Usca, 2014). En su proyecto, tratamiento de mineral de baja ley. Incluyendo el 10% de mineral de baja ley de canchas al tratamiento mensual obtiene una margen de ganancia de 2,323,604 US\$ respecto a la ganancia del plan anual base, utilizando como principal fuente de incertidumbre al precio de la plata.

Se demostró con la presente investigación en los casos 01, b y c se obtuvieron mayores márgenes de ganancia respecto al plan base anual en 165,605 US\$ y 1, 226,629 US\$, respectivamente, en los ambos casos se incluyeron el 8.7% de mineral marginal roturado al plan de tratamiento anual. Además en el caso 01 c, incluye leyes ejecutadas enero – abril 2017, a este plan se denomina *forecast*.

4.4.4 Caso 02 variación del precio de los *commodities*.

En las siguientes tablas presentamos un esquema de variación en el precio de los metales, acorde a la volatilidad anual de cada *commodities*, en base a los valores considerados para el programa anual de tratamiento anual.

Estableciendo las recuperaciones metalúrgicas constantes, calculamos los valores punto de cada elemento considerando parámetros de comercialización constantes.

Precio de los commodities.

Precio de la plata.

El precio de la plata, actualmente viene en tendencia de caída, como se muestra en la Figura 4:5, la cual afecta negativamente a la generación de

mayores utilidades de la empresa minera. Ver data de precios de Ag en: Anexo

A – Tabla A.4

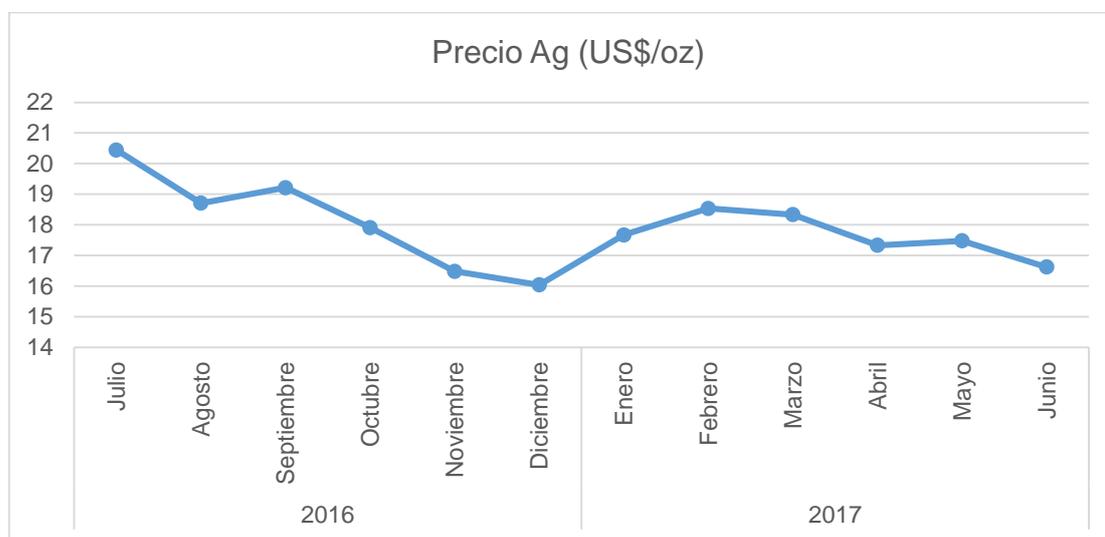


Figura 4:5 Precio histórico anual de la plata

Fuente: (Web Site,Commoditie Prices Kitco, 2017)

Precio del oro.

El oro presenta tendencias de alza y caída como se muestra en la

Figura: 4:6. Ver data de precios de AU en: Anexo A – Tabla A.5

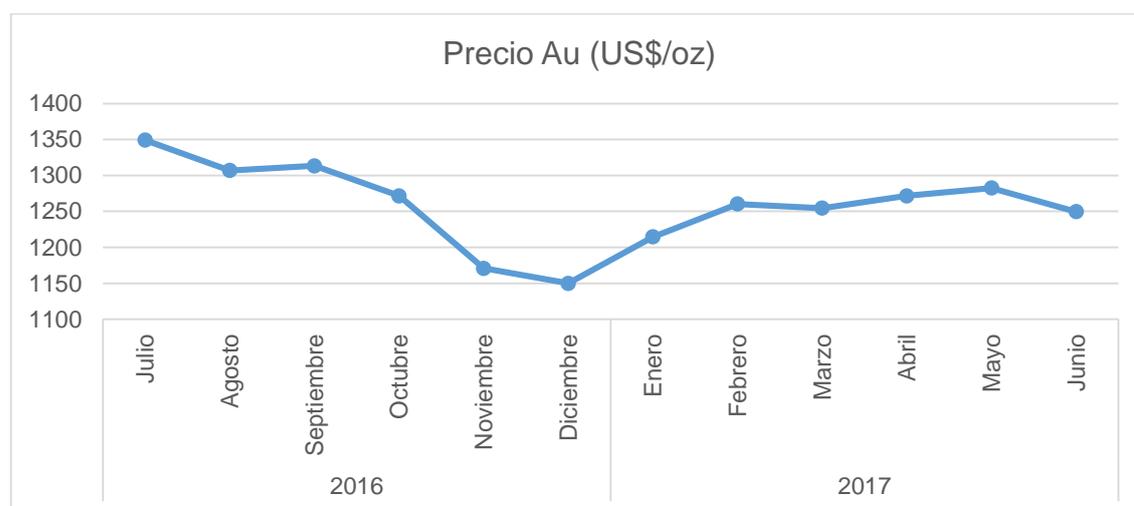


Figura 4:6 Precio histórico anual del oro

Fuente: (Web Site,Commoditie Prices Kitco, 2017)

Precio del plomo.

El precio del plomo presenta una tendencia de alza, como se aprecia en la Figura: 4:7, lo cual afecta positivamente en la generación de utilidades de la empresa. Ver data de precios de Pb en: Anexo A – Tabla A.6

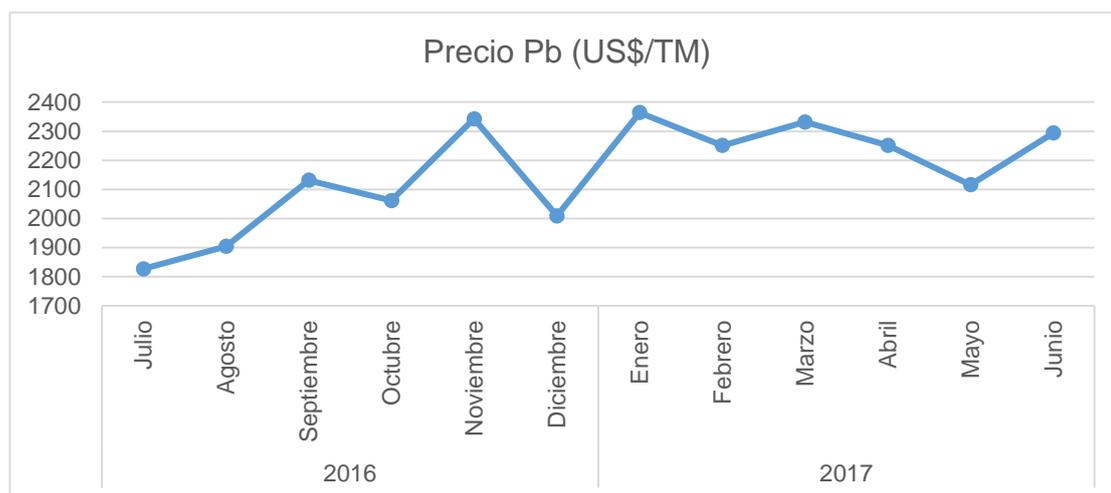


Figura 4:7 Precio histórico anual del plomo
 Fuente: (Web Site,Commoditie Prices Kitco, 2017)

Precio del zinc.

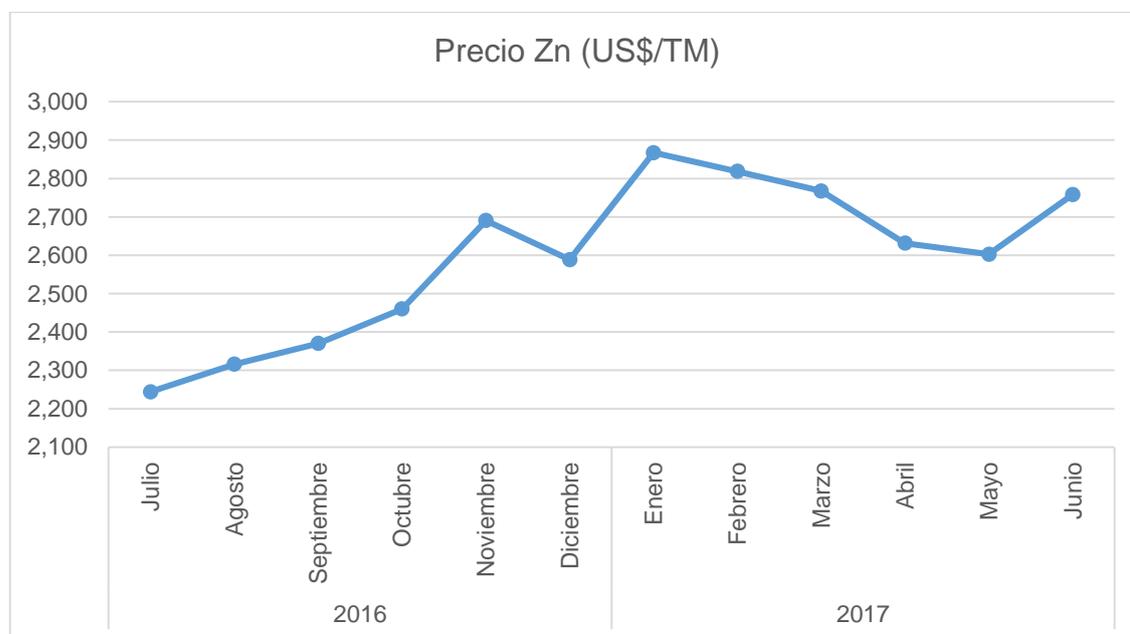


Figura 4:8 Precio histórico anual del Zinc
 Fuente: (Web Site,Commoditie Prices Kitco, 2017)

El precio del zinc presenta una tendencia de alza, como se aprecia en la figura: 4:8, de modo que afecta positivamente en la generación de utilidades en la empresa minera. Ver data de precios de Zn en: Anexo A – Tabla A.7

Estadística histórica anual de los commodities:

Datos estadísticos del precio de los commodities:

Tabla 4:29 Resumen estadístico del precio de los commodities

Datos	Ag	Au	Pb	Zn
Valor Max (US\$/oz)	20.44	1,349	2,364	2,867
Valor Min (US\$/oz)	16.04	1,150	1,827	2,244
Media (US\$/oz)	17.90	1,258	2,157	2,593
Volatilidad Anual (%)	25	16	25	24

Fuente: Elaboración propia.

Variación del precio de los commodities (Tabla 4.30)

La variación del precio de los *commodities* se realizó, acorde a la volatilidad histórica anual con un margen proyectado con escenarios alcistas y bajistas.

Tabla 4:30 Variación del precio de los commodities en base al plan anual

Precio de los commodities	Ag(US\$/oz)	Au(US\$/oz)	Pb(US\$/TM)	Zn(US\$/TM)
	21.28	1414	2408	2875
	20.90	1368	2365	2760
	20.52	1322	2322	2668
	20.14	1277	2279	2576
	19.76	1231	2236	2484
	19.38	1186	2193	2392
Plan anual base	19.00	1140	2150	2300
	18.43	1129	2129	2277
	17.86	1117	2064	2254
	17.29	1106	2000	2231
	16.72	1094	1935	2208
	16.15	1083	1871	2185
	15.58	1072	1806	2162
	15.01	1060	1785	2139
	14.44	1049	1763	2116

Fuente: Elaboración propia.

Volatilidad histórica anual

Para el proyecto se consideró la volatilidad anual en base a los precios de los *comomdities* con que se realizó el plan anual base con escenarios alcistas y bajistas. Tabla 4.31.

Tabla 4:31 Volatilidad del precio de los commodities en base al plan anual

Variación	Vol. (%)Ag	Vol. (%)Au	Vol. (%)Pb	Vol. (%)Zn
	12%	24%	12%	25%
	10%	20%	10%	20%
	8%	16%	8%	16%
	6%	12%	6%	12%
	4%	8%	4%	8%
	2%	4%	2%	4%
Plan anual base	0%	0%	0%	0%
	-3%	-1%	-1%	-1%
	-6%	-2%	-4%	-2%
	-9%	-3%	-7%	-3%
	-12%	-4%	-10%	-4%
	-15%	-5%	-13%	-5%
	-18%	-6%	-16%	-6%
	-21%	-7%	-17%	-7%
	-24%	-8%	-18%	-8%

Fuente: Elaboración propia.

Recuperación metalúrgica o (RM)

La RM se consideró constante. Tabla 4.32.

Tabla 4:32 Recuperación Metalúrgica del plan anual base

RM (%)	Ag	Au	Pb	Zn
Valores base	85%	22%	94%	90%

Fuente: Elaboración propia.

Cálculo de valores punto. Tabla 4.33.

Tabla 4:33 Valores punto acorde a la volatilidad del plan anual base

Valores Punto	Ag(US\$/oz)	Au(US\$/oz)	Pb(US\$/TM)	Zn(US\$/TM)
	0.50	9.36	16.32	14.74
	0.49	9.06	16.13	14.39
	0.48	8.75	15.93	14.10
	0.47	8.45	15.73	13.82
	0.46	8.14	15.53	13.54
	0.46	7.83	15.33	13.26
Plan anual base	0.45	7.53	15.13	12.98
	0.43	7.45	15.03	12.91
	0.42	7.37	14.74	12.84
	0.41	7.30	14.22	12.77
	0.40	7.22	13.65	12.70
	0.38	7.14	13.46	12.63
	0.37	7.07	12.89	12.56
	0.35	6.99	12.70	12.49
	0.34	6.91	12.51	12.41

Fuente: Elaboración Propia.

Cálculo del margen de ganancia anual incluyente incertidumbre

Tomando como base el plan de producción 2017, se calculó cómo varia el valor final del plan de producción. El NSR se calcula en base a las volatilidades presentadas en la Tabla 4:31.

Se aprecia en la tabla 4:36, el valor de la incertidumbre del precio de los *commodities* nos generan mayores márgenes de ganancia en escenarios alcistas. Actualmente esto se refleja en el precio del oro, plomo y zinc, gracias a ello el NSR ejecutado es mayor al planeado pese a la baja del precio de la plata.

Cálculo de NSR y VM. Tabla 4.34.

Tabla 4:34 Resumen del valor NSR y VM con incertidumbre

Variación de MG	NSR(US\$/TM)	VM(US\$)
	139	74,174,516
	136	72,792,085
	134	71,554,986
	131	70,317,887
	129	69,080,787
	127	67,843,688
Plan anual base	124	66,606,589
	123	65,801,265
	121	64,706,229
	118	63,296,151
	116	61,870,082
	114	60,877,643
	111	59,323,744
	109	58,327,811
	107	57,331,879

Fuente: Elaboración Propia.

Cálculo de MG Anual Tabla 4.35.

Tabla 4:35 Margen de ganancia anual incluido incertidumbre

Variación de MG	NSR(US\$/TM)	VM(US\$)	Costo Total (US\$)	MG (US\$)
	139	74,174,516	40,830,535	33,343,980
	136	72,792,085	40,830,535	31,961,550
	134	71,554,986	40,830,535	30,724,451
	131	70,317,887	40,830,535	29,487,352
	129	69,080,787	40,830,535	28,250,252
	127	67,843,688	40,830,535	27,013,153
Plan anual base	124	66,606,589	40,830,535	25,776,054
	123	65,801,265	40,830,535	24,970,730
	121	64,706,229	40,830,535	23,875,694
	118	63,296,151	40,830,535	22,465,616
	116	61,870,082	40,830,535	21,039,547
	114	60,877,643	40,830,535	20,047,108
	111	59,323,744	40,830,535	18,493,209
	109	58,327,811	40,830,535	17,497,276
	107	57,331,879	40,830,535	16,501,344

Fuente: Elaboración Propia.

Cálculo del valor de la incertidumbre de los precios de los commodities.

Tabla 4.36.

Tabla 4:36 Valor de incertidumbre del precio de los commodities

Incertidumbre	NSR(US\$/TM)	VM(US\$)	Valor de incertidumbre (US\$)
	139	74,174,516	7,567,926
	136	72,792,085	6,185,496
	134	71,554,986	4,948,397
	131	70,317,887	3,711,298
	129	69,080,787	2,474,198
	127	67,843,688	1,237,099
Plan anual base	124	66,606,589	0
	123	65,801,265	-805,324
	121	64,706,229	-1,900,360
	118	63,296,151	-3,310,438
	116	61,870,082	-4,736,507
	114	60,877,643	-5,728,946
	111	59,323,744	-7,282,845
	109	58,327,811	-8,278,778
	107	57,331,879	-9,274,710

Fuente: Elaboración Propia.

Discusiones

Según los antecedentes de la investigación, (Zenteno, 1998), en su investigación “Definición del tamaño de producción para un proyecto minero utilizando teoría de opciones - aplicación y análisis a un caso real”. En sus resultados indica que el tamaño óptimo se obtiene mediante la evaluación de las cinco alternativas utilizando teoría de opciones (VPN-OP), considerando que el único elemento que incorpora incertidumbre es el precio del cobre. Las alternativas analizadas fueron 150, 200, 250, 300, y 350 KTCu/año en tamaños de producción. El análisis de sensibilidad respecto al precio del cobre, se realizó para los tres cálculos de VPN, VPN – SF y VPN - OP, variando entre 0,6 y 1,2 US\$/lb. De tal manera obteniendo un tamaño de producción óptimo de 300 KTCu/año según el enfoque estático del VPN tradicional, con 1646 MUS\$, sin embargo es de 250 KTCu/año según la simulación sin considerar flexibilidades y según la valoración con opciones reales con, 2221 y 2251

MUS\$, respectivamente. En el presente estudio se demostró en el caso 02; se consideró como elementos de incertidumbre a los precios de la Ag, Au, Pb y Zn, donde se obtuvo márgenes de ganancia anual hasta llegar a 33, 343,980 US\$ y 16,501,344 US\$, en escenarios alcistas y bajistas respectivamente, en base a los precios calculados del plan base anual con volatilidades anuales respecto a la media de Ag, Au, Pb y Zinc de 12%,24%,12% y 25% respectivamente en escenarios alcistas y -24% -8% -18% y 8% respectivamente en escenarios bajistas. El margen de ganancia del plan anual base es de 25,776,054 US\$.

(Espinoza, 2002), en su memoria de Ingeniero Civil de Minas y Tesis de Magíster “Valor de la información y teoría de opciones en la evaluación de proyectos mineros. Obtiene en sus resultados de la sensibilidad de los precios del cobre (US\$/lb); 0.7, 0.9, 1.0 y 1.2; Caso 1, 2, 3 y 4 respectivamente. Con Valores de flexibilidad de 12,097,700, 8,002,500 y 6,585,800 y 4,374,200 US\$, Respecto al VPN tradicional en los Casos 1, 2,3 y 4. En la presente investigación en el caso 02, se consideró como elementos de incertidumbre a los precios de la Ag, Au, Pb y Zn, Se considera volatilidades anuales respecto a la media de los precios del plan anual base. Con volatilidades en Ag, Au, Pb y Zinc de 12%,24%,12% y 25%, respectivamente en escenario alcista máximo y -24% -8% -18% y 8%, respectivamente en escenario bajista máximo, donde se obtuvo el valor de la flexibilidad respecto al margen de ganancia del plan anual base de 7, 567,929 US\$ y -9, 274,710 US\$, en escenario alcistas máximo y bajista máximo.

(Kettlun, 1999), en su tesis para optar simultáneamente al grado de magíster en Ciencias de la Ingeniería mención industrial y al título de Ingeniero

Civil Industrial, Evaluación por simulación de un proyecto en la minería del cobre usando la teoría de opciones. Calcula un VPN con simulación y ajustes a un mundo neutral al riesgo pero sin considerar las flexibilidades y un VPN por opciones incluyendo las flexibilidades, presenta el escenario de precio inicial de 1 US\$/lb y otro de 0,7 US\$/lb, con volatilidades de 20% y 30%, en donde obtiene VPN sin flexibilidades, 117, 886,842 US\$ y un VPN con flexibilidades de 120, 663,750 US\$, a una volatilidad de 20% y a un precio de 1 US\$/lb de Cu. En el caso de 1 US\$/lb de Cu y a una volatilidad de 30% obtiene 120,350,022 y 124,265,375 US\$ en VPN sin flexibilidades y con flexibilidades, respectivamente. En el presente trabajo de investigación, a una volatilidad real respecto al plan anual base de 6, 12,6 y 12 % en precios de Ag, Au, Pb y Zn, respectivamente se obtuvo un margen de ganancia de 29,487, 352 US\$ y en el plan anual se obtuvo un margen de ganancia de 25,776, 054 US\$, es decir -3, 711, 298 US\$ menos que el caso realista.

CONCLUSIONES

1. La teoría de opciones reales es uno de los métodos de valoración de proyectos de inversión muy buenas cuando los proyectos poseen alto grado de incertidumbre y flexibilidad operativa, mientras que los métodos tradicionales aprueban proyectos si son reversibles y la inversión es de tipo ahora o nunca, en la presente tesis se llegó a obtener mayores márgenes de ganancia respecto al plan anual determinístico en los dos casos.
2. Con la inclusión del tratamiento del mineral de baja ley se generó mayor margen de ganancia bruta anual, con respecto al plan base 165,601 US\$ y 1,226,629 US\$, en los casos 01,b y c respectivamente, la inclusión del mineral de baja ley al plan de tratamiento anual es de 8.7 %, con valores de Ag:41(g/t), Au:0.13(g/t),Pb: 1.27(%) , Zn: 2.22(%), NSR: 67.5(US\$/TM) y un *becoff* : 16.5 USS/TM, este último porque sólo se le carga el costo de transporte y tratamiento planta al mineral de baja ley.
3. El precio de los *commodities* en escenarios alcistas incide en la generación de mayores márgenes de ganancia bruta anual de la empresa minera, donde se consideraron volatilidades anuales respecto a la media del precio de los *commodities* con un margen mínimo de proyección, donde se obtuvo resultados esperados a una volatilidad mínima en Ag, Au, Pb y Zn de 2%,4%,2% y 4% respectivamente donde se obtuvo un margen de 1,237,099 US\$ y a una volatilidad máxima de 12%, 24%, 12% y 25% respectivamente, se obtuvo un margen de ganancia de 7,567, 926 US\$, ambos resultados de márgenes de ganancia, son respecto al plan anual base.

RECOMENDACIONES

1. Realizar la extracción del 100% de mineral de baja ley después de la rotura, para su disposición a canchas con sus respectivas leyes, posteriormente incluir al plan de tratamiento metalúrgico el cual debe generar mayores utilidades para le empresa minera.
2. Los tramos de mineral de baja ley, deben ser identificados desde el modelo de bloques de reservas e incluir la extracción de mineral de baja ley en los planes semanales, mensuales, trimestrales y anuales de producción, de manera que permita lograr un mejor control de inventario de canchas de mineral de baja ley.
3. Promover la aplicación de la teoría de opciones en proyectos mineros en la fecha de iniciación, proceso productivo y eventual cierre, el cual nos ayuda a tomar mejores decisiones a fin de obtener mayor rentabilidad para la empresa minera.

REFERENCIAS

- Amram, M., & Kulatilaka, N. (1999). *Opciones Reales: Evaluación de inversiones en un mundo incierto*. Harvard Business School Press.
- Black, F., & Scholes, M. (1973). "The Pricing of Options and Corporate Liabilities," *Journal of Political Economy* 81(3), 627-654.
- Boyle, P. (1977). "Options: A Monte Carlo approach," *Journal of Financial Economics* 4 (3), 323-338.
- Brennan, M., & Schwartz,, E. (1985). "Evaluating Natural Resource Investments" en *Journal of Business*, vol. 58, No. 2, 135-157.
- Constantinides, G. (1978). "Market risk adjustment in project evaluation." *Journal of Finance* 33(2), 603-616.
- Contreras, E., & Fernandez, V. (2003). *Revista Ingeniería de Sistemas. Valor de la información y teoría de opciones en la evaluación de proyectos mineros*.
- Cox, J., & Ross, S. (1976). "The valuation of option for alternative stochastic processes," *Journal of Financial Economics* 3, no. 1/2: 145-166.
- El Código JORC. (1999). *Código de Australasia, Preparado por el comité conjunto de reservas de mena de. The Australasian Institute of Mining and Metallurgy, Australian Institute of Geoscientists, and The Minerals Council of Australia (JORC)*.
- Espinoza, C. (2002). *Valor de la información y teoría de opciones en la evaluación de proyectos mineros. Memoria de Ingeniero Civil de Minas y*

Tesis de Magíster en Gestión y Dirección de Empresas del Departamento de Ingeniería Industrial de la Universidad de Chile. Chile.

Instituto de ingenieros de minas de Chile. (2003). *Código para la certificación de prospectos de exploración, recursos y reservas mineras.*

Jacoby, H., & Laughton, D. (1987). "Project analysis using methods of derivative asset valuation" MIT Energy Laboratory Working Paper, 87-001WP, marzo.

Kettlun, A. (1999). *Evaluación por simulación de un proyecto en la minería del cobre usando la teoría de opciones. Tesis para optar simultáneamente al grado de Magíster en Ciencias de la Ingeniería, mención Industrial, y al título de Ingeniero Civil Industrial. Chile.*

Lamothe, P., & Méndez, M. (2007). *Valoración de un parque eólico con opciones reales. Universia Business Review, (15).*

Lane, K. F. (1988). *The economic definition of ore: cut-off grades in theory and practice. Mining Journal Books. Estados Unidos.*

Leslie, K. J., & Michaels, M. P. (1997). *The Real Power of Real Options, The McKinsey Quarterly, págs. 5-22.*

Lopez Lubian, F. J. (2003). "Opciones reales y decisiones estratégicas".

McDonald, R., & Siegel, D. (1986). "The Value of Waiting to Invest" en *Quarterly Journal of Economics 101.*

Mendiola, A; Aguirre, C; Del Castillo, C; Copa, M; Flores, L; Ortiz, R;. (2014). *Valoración de una empresa con opciones reales: el caso de Minera*

- Aurífera Peruana*. Lima: Universidad ESAN, 102 p. – (Serie Gerencia para el Desarrollo; 34). Peru.
- Moel , A., & Tufano, P. (2000). “When are Real Options Exercised?: An Empirical Study of Mine Closings”.Harvard Business School Working Paper 99-117.
- Mun, J. (2006). *Real Options Analysis: Tools and Techniques for Valuing Investments and Decisions*.John Wiley & Sons, New Jersey, USA.
- Packey, J. D. (2014). *Natural Resource Economics*. Curtin University. Australia.
- Paddock, J., Siegel, D., & Smith, J. (1988). “Option Valuation of Claims on Real Assets: The Case of Offshore Petroleum Leases” en *Quarterly Journal of Economics* 103, 479-508.
- Quigg, L. (1993). “Empirical testing of real option-pricing models” en *Journal of Finance* 48(2), 621-640.
- Rivera Alonso, J. C. (2013). *Proyecto estudio de opciones reales para decisiones de inversion en un proyecto minero nueva ejecución*. Escuela técnica superior de ingenieros de minas. España.
- Schwartz, E., & Moon, M. (2001). “Rational Pricing of Internet Companies Revisited.” *Documento de trabajo*,Anderson School of Business, University of California in Los Angeles.
- Torres Usca, J. A. (2014). *Tratamiento de mineral de baja ley. Proyecto, Jefatura de Planeamiento a Largo Plazo, Minera Bateas S.A.C*. Peru.
- Trigeorgis, L. (1996). *Real Options*. The Mit Press.

- Tufano, P. (1998). *“The determinants of stock price exposures: Financial engineering and the gold mining industry”* en *Journal of Finance* 53, 1015-1052.
- Vienne, J. (2014). *Ponencia Planificación Minera, Diplomado Planificación Minera. Universidad de Chile. Chile.*
- Vilavila, P. A. (2017). *Reducción de márgenes de discrepancia del mineral planeado y extraído mediante el empleo del Software Datamine en Minera Bateas. Peru.*
- Web Site, *Commoditie Prices Kitco.* (2017). Obtenido de <http://www.kitco.com/charts/>
- Zenteno, L. (1998). *Definición del tamaño de producción para un proyecto minero utilizando teoría de opciones - Aplicacion y análisis de un caso real. Tesis para optar el grado de magister en ciencias de la ingeniería, mención industrial y al título Ingeniero Civil de Minas . Chile.*

ANEXOS

ANEXO A

Tabla A.1: Resumen de plan de tratamiento anual base 2017.

Tajo	Veta	Nivel	Explotación	TM	Ag (g/TM)	Au (g/TM)	Pb(%)	Zn(%)	NSR (US\$/TM)	Becoff (US\$/TM)
TJ370E		8	Semimecanizado	6,705	67	0.50	2.37	2.67	104	79
TJ390E		8	Semimecanizado	10,705	162	0.18	0.80	1.69	108	79
TJ410E		9	Mecanizado	5,072	67	0.28	2.12	3.56	110	76
TJ436E		9	Mecanizado	43,907	96	0.25	3.22	3.26	136	76
TJ410W		9	Mecanizado	6,803	65	0.28	2.11	3.61	110	76
TJ352E		10	Convencional	4,182	58	0.11	2.43	2.25	93	90
TJ426E		10	Convencional	12,014	48	0.14	1.94	3.12	92	90
TJ452E		10	Mecanizado	26,003	88	0.27	2.89	3.75	134	75
TJ512E		12	Mecanizado	18,456	73	0.16	1.97	3.39	108	76
TJ526E	Ánimas	12	Mecanizado	14,925	71	0.11	2.99	3.28	120	76
TJ553E		12	Mecanizado	70,003	92	0.11	3.32	3.61	139	76
TJ556E		12	Mecanizado	52,987	69	0.13	2.17	5.77	139	76
TJ558E		12	Mecanizado	37,261	51	0.04	3.17	2.72	106	76
TJ560E		12	Mecanizado	10,176	58	0.15	1.85	3.74	104	76
TJ612E		13	Mecanizado	40,599	29	0.11	1.52	3.74	85	76
TJ626E		13	Mecanizado	46,637	43	0.11	1.59	3.40	88	76
TJ727E		14	Mecanizado	11,806	56	0.10	2.61	2.74	101	75
TJ730E		14	Mecanizado	76,684	81	0.08	4.22	4.85	163	75
TJ830E		15	Mecanizado	7,650	77	0.07	3.08	2.90	119	75
TJ460E	Nancy	12	Mecanizado	8,640	44	0.86	1.57	4.47	108	76
TJ440E		12	Mecanizado	24,286	78	0.56	2.78	4.72	142	75
Total				535,500	71	0.17	2.73	3.86	124	76

Tabla A.2: Resumen de rotura de mineral de baja ley enero – abril 2017.

Año	Mes	Labor	TM	Ag (g/TM)	Au (g/TM)	Pb(%)	Zn(%)	NSR (US\$/TM)
2016	Noviembre		4,102	38	0.12	1.45	2.32	69.9
		TJ352E	65	48	0.12	1.48	1.94	69.8
		TJ512E	859	46	0.15	1.55	2.27	74.8
		TJ527E	395	26	0.11	0.67	1.84	46.5
		TJ530E	357	44	0.11	1.38	2.42	73.0
		TJ553E	192	42	0.07	2.08	1.78	73.7
		TJ627E	724	35	0.13	1.05	3.02	71.5
		TJ630E	822	28	0.11	1.75	2.26	69.0
		TJ730E	687	45	0.10	1.70	2.10	73.9
2016	Diciembre		4,078	37	0.12	1.13	2.52	67.2
		TJ512E	380	28	0.19	0.96	3.59	75.0
		TJ527E	278	55	0.13	0.46	1.72	54.7
		TJ530E	298	43	0.11	1.33	2.76	75.8
		TJ553E	243	64	0.08	1.44	1.83	74.9
		TJ626E	253	16	0.09	0.68	2.21	46.9
		TJ627E	961	24	0.09	0.70	2.70	57.0
		TJ630E	764	30	0.11	1.88	2.43	74.1
		TJ730E	901	51	0.13	1.22	2.41	73.4
2017	Enero		4,105	46	0.12	1.23	2.23	69.1
		TJ352E	147	38	0.10	1.59	1.69	63.9
		TJ452E	252	79	0.20	0.87	1.89	74.6
		TJ512E	503	36	0.17	1.08	2.80	69.9
		TJ530E	337	42	0.06	1.31	2.81	75.6
		TJ554E	356	89	0.04	1.08	1.49	75.8
		TJ560E	343	72	0.13	0.97	2.15	75.6
		TJ627E	1,668	32	0.14	1.31	2.09	62.4
		TJ630E	500	44	0.09	1.43	2.60	75.7
2017	Febrero		3,902	33	0.12	1.28	2.37	66.0
		TJ352E	20	43	0.13	1.90	2.02	75.0
		TJ530E	763	47	0.09	1.49	2.34	74.7
		TJ560E	28	53	0.11	1.37	2.23	74.2
		TJ626E	19	36	0.13	1.65	2.58	75.6
		TJ627E	1,680	30	0.13	1.32	1.91	59.2
		TJ630E	852	33	0.13	1.18	2.78	69.5
		TJ726E	444	26	0.12	1.06	3.58	75.0
		TJ727E	97	15	0.08	0.64	1.53	36.8
2017	Marzo		3,810	49	0.16	1.28	1.84	66.3
		TJ352E	191	45	0.12	1.85	1.89	73.6
		TJ452E	708	61	0.41	1.27	1.82	73.1
		TJ553E	1,226	67	0.11	1.52	1.68	75.5
		TJ626E	297	19	0.11	0.94	2.82	60.0
		TJ630E	186	31	0.13	1.11	3.19	73.0

	TJ712E	147	21	0.10	1.07	1.81	49.8
	TJ727E	1,056	37	0.07	1.05	1.52	52.7
2017 Abril		3,940	46	0.12	1.26	2.02	66.5
	TJ452E	84	78	0.24	0.74	2.13	75.6
	TJ512E	610	59	0.15	1.56	1.87	75.2
	TJ530E	587	60	0.08	1.19	2.04	71.7
	TJ553E	657	65	0.11	1.56	1.70	75.4
	TJ560E	467	64	0.17	1.38	1.86	74.7
	TJ626E	400	20	0.11	0.78	3.23	63.2
	TJ627E	858	21	0.11	1.24	1.87	53.3
	TJ726E	36	21	0.12	0.77	4.00	73.7
	TJ727E	182	10	0.06	0.63	1.74	37.2
	TJ730E	60	12	0.04	0.98	2.00	46.5
Total		23,937	41	0.13	1.27	2.22	67.5

Tabla A.4: Resumen de precios de plata por meses

Año	Mes	Precio Ag(US\$/oz)
2016	Julio	20.44
	Agosto	18.71
	Septiembre	19.21
	Octubre	17.91
	Noviembre	16.48
	Diciembre	16.04
2017	Enero	17.67
	Febrero	18.54
	Marzo	18.33
	Abril	17.34
	Mayo	17.48
	Junio	16.63

Tabla A.5: Resumen de precios de oro por meses

Año	Mes	Precio (US\$/oz)
2016	Julio	1349
	Agosto	1307
	Septiembre	1313
	Octubre	1272
	Noviembre	1171
	Diciembre	1150
2017	Enero	1215
	Febrero	1260
	Marzo	1255
	Abril	1272
	Mayo	1283
	Junio	1250

Tabla A.6: Resumen de precios de plomo por meses

Año	Mes	Precio Pb (US\$/TM)
2016	Julio	1827
	Agosto	1904
	Septiembre	2131
	Octubre	2062
	Noviembre	2343
	Diciembre	2009
2017	Enero	2364
	Febrero	2251
	Marzo	2332
	Abril	2251
	Mayo	2116
	Junio	2294

Tabla A.7: Resumen de precios de zinc por meses

Año	Mes	Precio Zn (US\$/TM)
2016	Julio	2,244
	Agosto	2,316
	Septiembre	2,370
	Octubre	2,460
	Noviembre	2,691
	Diciembre	2,589
2017	Enero	2,867
	Febrero	2,819
	Marzo	2,768
	Abril	2,631
	Mayo	2,603
	Junio	2,759

