

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ**

**FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA**



**“MAXIMIZACIÓN DE VALOR PRESENTE NETO A TRAVÉS DE LA  
OPTIMIZACIÓN DE LA LEY DE CORTE EN UNA MINA SUBTERRANEA”**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO DE MINAS**

**AUTOR**

Marcio Santana Perez

**ASESOR**

Ing. Luis Fernando Gala Soldevilla

Lima, Marzo, 2020



**Dedicatoria:**

Este trabajo de investigación está dedicado a mis padres Teófilo Santana Huanca y Enma Pérez Mendoza por el soporte y apoyo a todos mis proyectos y metas en pro de mi desarrollo profesional. Ustedes son lo único que necesito para poder lograr cada sueño.  
Gracias infinitas.

### **Agradecimiento:**

En primer lugar, agradecer a Dios por darme vida y salud; a mi familia por su soporte día a día en cada etapa de mi vida. Asimismo, al Ing. Raúl Espinoza Noriega y al Ing. Fernando Gala Soldevilla por su guía y su asesoría durante la elaboración de esta tesis.

También quiero agradecer a la Pontificia Universidad Católica del Perú a la Facultad de Ciencia e Ingeniería y a la Especialidad de Ing. de Minas, directivos y profesores.



## INDICE

	Pág.
1. Resumen.....	1
2. Abstract.....	2
3. Introducción.....	3
4. Problema de Investigación.....	4
5. Objetivos.....	5
5.1. Objetivo Principal.....	5
5.2. Objetivos Específicos.....	5
6. Metodología.....	5
7. Marco Teórico.....	8
7.1. Antecedentes.....	8
7.2. Formulación Matemática de Metodología de K. Lane.....	9
7.3. Conceptos Críticos de K. Lane.....	10
7.4. Componentes del Proceso Minero.....	12
7.5. Límites Económicos.....	13
8. Marco conceptual (Definición de Términos).....	13
9. Sistema de Hipótesis.....	22
9.1. Propósito del Cut-Off.....	22
9.2. Método de Determinación del Cut-Off.....	22
9.3. Elección de una Ley de Corte Óptima para la Evaluación de un Proyecto Minero ..	23
9.4. Evaluación de Proyectos Mineros de Inversión.....	24
9.5. La Importancia de la Ley de Corte (Cut-Off Grade).....	24
9.6. Equilibrio entre Riesgo y Beneficio.....	25
9.7. La Implementación Eficiente del Plan de Minado Óptimo.....	25
9.8. Optimización de Ley de Corte (Cut Off Grade).....	27
9.9. Esquema de Optimización de Ley de Corte ( Cut-Off Grade).....	28
9.10. El vínculo entre la Planificación de Minas y el Alto Rendimiento.....	28
9.11. Desarrollo del Plan de Minado Óptimo.....	30
10. Sistema de Variables.....	33
10.1. Parámetros Físicos.....	33
10.2. Parámetros de Costos e Ingresos.....	33
11. Operalización de Variables.....	34
11.1. Límite Económico de Ley de Corte (Limiting Economic Cut-Off Grade).....	34
11.1.1. Límite de Mina.....	34
11.1.2. Límite de Planta.....	34
11.1.3. Límite de Mercado.....	35
11.2. Equilibrio de Leyes de Corte (Balancing Cut-Off Grades).....	36
11.2.1. Ley de Corte de Equilibrio Mina – Planta.....	38
11.2.2. Ley de Corte de Equilibrio Planta – Mercado.....	39
11.2.3. Ley de Corte de Equilibrio Mina – Mercado.....	40
12. Caso de Estudio.....	47
12.1. Modelamiento Geológico.....	48
12.1.1. Topografía.....	49
12.1.2. Modelo de Bloques.....	49
12.2. Corrección Geoestadística.....	50
12.3. Análisis de Cut-Off.....	52
12.4. Potencias de Mineral.....	58
12.5. Elección del Método de Minado.....	59

12.5.1. Clasificación Geomecánica.....	59
12.5.2. Relleno de Mina.....	60
12.5.3. Análisis de Precios de los Metales.....	63
12.6. Estimación de Recursos Minerales.....	65
12.7. Estimación de Recursos Diluidos.....	69
12.8. Trade Off de Método de Minado.....	70
12.9. Break Even Cut Off (BECOFF).....	73
12.10. Estimación de Reservas Minerales.....	73
12.11. Diseño de los Tajeos Optimizados con el Software MineSight a Cut Off 63.15 US\$/t.....	76
13. Evaluación Económica del Proyecto.....	80
13.1. Caso N°1 Modelo Break-Even – Enfoque Tradicional.....	81
13.1.1. Flujo de Caja Libre Antes de Impuestos y Participaciones .....	82
13.1.2. Estado de Resultados para Determinación de Utilidades.....	83
13.1.3. Flujo de Caja Económico después de Impuestos y Participaciones.....	84
13.1.4. Rentabilidad Financiera del Proyecto.....	85
13.1.5. Flujo de Caja Financiero del Accionista.....	86
13.1.6. Resumen Económico con Modelo Break-Even – Enfoque Tradicional.....	87
13.2. Caso N°2 Modelo Lane & Heurístico – Enfoque Modelo.....	87
13.2.1. Flujo de Caja Libre Antes de Impuestos y Participaciones .....	89
13.2.2. Estado de Resultados para Determinación de Utilidades.....	90
13.2.3. Flujo de Caja Económico después de Impuestos y Participaciones.....	91
13.2.4. Rentabilidad Financiera del Proyecto.....	92
13.2.5. Flujo de Caja Financiero del Accionista.....	93
13.2.6. Resumen Económico con Modelo Break-Even – Enfoque Tradicional.....	94
14. Resultados.....	94
14.1. Análisis de Sensibilidad de Proyecto.....	95
14.1.1. Análisis de Sensibilidad del Valor Presente Neto – Enfoque Tradicional.....	95
14.1.2. Análisis de Sensibilidad del Valor Presente Neto – Enfoque Moderno.....	96
15. Conclusiones.....	97
16. Bibliografía.....	100

## INDICE DE FIGURAS

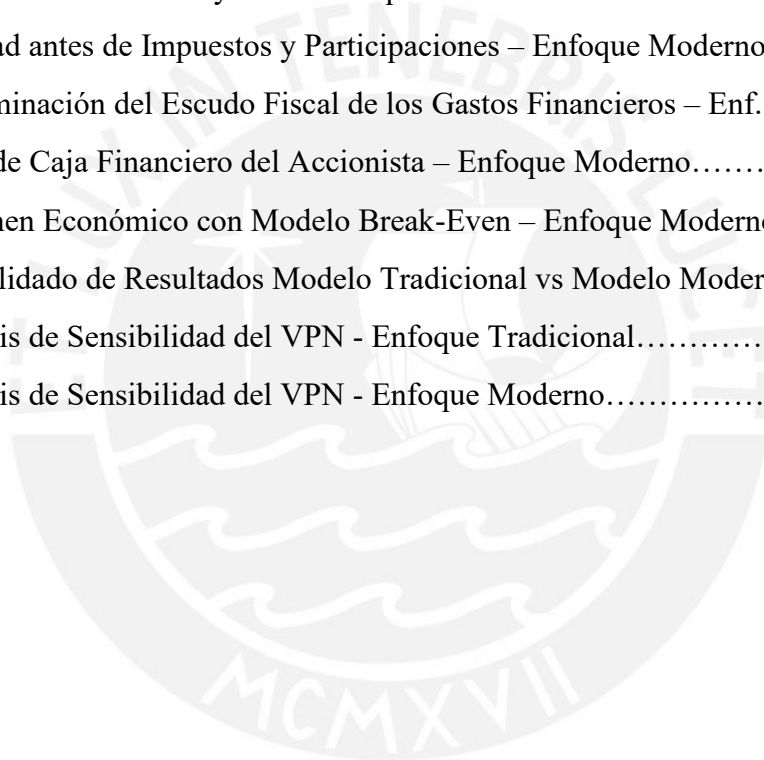
	Pág.
Figura 1. Resumen de la estructura de los tres modelos del cut-off grade.....	6
Figura 2. Punto de decisión en el cut-off grade para el destino del material.....	7
Figura 3. Componentes de K. Lane.....	12
Figura 4. Curva Tonelaje – Ley.....	16
Figura 5. Relación general entre Resultados de Exploración, Recursos Minerales y Reservas Minerales.....	20
Figura 6. Niveles de Planificación.....	26
Figura 7. Controles estratégicos y financieros.....	29
Figura 8. Modelo Conceptual de Planificación Minera.....	31
Figura 9. Factores principales de la utilidad en la valorización.....	32
Figura 10. Valor (VPN) vs Cut-off para mina y planta.....	37
Figura 11. Valor (VPN) vs Cut-off para mina y planta, mostrando el “Balancing Cut-off” ..	38
Figura 12. Curva tonelaje- ley para la Ley de Corte de Equilibrio de Mina–Planta.....	39
Figura 13. Curva tonelaje- ley para la Ley de Corte de Equilibrio de Planta-Mercado.....	40
Figura 14. Curva tonelaje- ley para la Ley de Corte de Equilibrio de Mercado-Mina.....	41
Figura 15. Ley de Corte de Equilibrio de Mina – Planta.....	42
Figura 16. Ley de Corte de Equilibrio de Planta – Mercado.....	42
Figura 17. Ley de Corte de Equilibrio de Mina – Mercado.....	43
Figura 18. Ley de Corte de Optima de Mina – Mercado – Planta.....	43
Figura 19. Diagrama de flujo iterativo de planeamiento de mina.....	44
Figura 20. Modelo General de Leyes de Corte - Kenneth F. Lane. ....	45
Figura 21. Sistema de Gestión Integrando la estrategia y las operaciones. ....	46
Figura 22. Cuerpos mineralizados en 3D.....	47
Figura 23. Curvas de nivel del proyecto en 3D.....	49
Figura 24. Clasificación de Recursos del Cuerpo Mineralizado.....	50
Figura 25. Correlación de Ag y Au antes del tratamiento geoestadístico.....	51
Figura 26. Correlación de Ag y Au después del tratamiento geoestadístico .....	51
Figura 27. Histograma de Frecuencia de VPT.....	52
Figura 28. Modelamiento para Cut off 0 US\$/t.....	53
Figura 29. Modelamiento para Cut off 10 US\$/t.....	53

Figura 30. Modelamiento para Cut off 20 US\$/t.....	54
Figura 31. Modelamiento para Cut off 30 US\$/t.....	54
Figura 32. Modelamiento para Cut off 40 US\$/t.....	55
Figura 33. Modelamiento para Cut off 50 US\$/t.....	55
Figura 34. Modelamiento para Cut off 60 US\$/t.....	56
Figura 35. Modelamiento para Cut off 70 US\$/t.....	56
Figura 36. Modelamiento para Cut off 80 US\$/t.....	57
Figura 37. Modelamiento para Cut off 90 US\$/t.....	57
Figura 38. Modelamiento para Cut off 100 US\$/t.....	58
Figura 39. Variación del precio del oro en los últimos 15 años.....	63
Figura 40. Variación del precio de la plata en los últimos 15 años.....	64
Figura 41. Recursos y reservas según el código JORC.....	65
Figura 42. Curva Tonelaje Ley de Recursos Minerales In Situ.....	68
Figura 43. Curva Tonelaje - Ley de Recursos Minerales Diluidos.....	72
Figura 44. Clasificación del material mineralizado.....	73
Figura 45. Tonelaje - Ley de Recursos Minerales Diluidos.....	74
Figura 46. Curva Tonelaje – Ley de Reservas Minerales.....	75
Figura 47. Zonificación del cuerpo mineralizado en 3D.....	76
Figura 48. Diseño de preparación y desarrollo de labores para minado de Zona I.....	77
Figura 49. Diseño final 3D el plan de avances y de minado Zona I .....	77
Figura 50. Diseño de preparación y desarrollo de labores para minado de Zona II .....	78
Figura 51. Diseño final 3D el plan de avances y de minado Zona II .....	78
Figura 52. Diseño de preparación y desarrollo de labores para minado de Zona III.....	79
Figura 53. Diseño final 3D el plan de avances y de minado Zona III.....	79
Figura 54. Diseño final 3D de infraestructura de la Veta Odiseo .....	80
Figura 55. Enfoque Moderno vs Enfoque Tradicional.....	94

## INDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1: Intervalos referenciales para el Cut Off.....	51
Tabla 2: Potencia de mineral para cada Cut Off.....	58
Tabla 3. Clasificación del Macizo Rocoso.....	60
Tabla 4. Significado de la Clasificación de Macizo Rocoso.....	60
Tabla 5: Característica de los Rellenos de Mina.....	62
Tabla 6: Precio del oro en los últimos 15 años.....	63
Tabla 7: Precio de la plata en los últimos 15 años.....	64
Tabla 8. Parámetros de diseño I.....	65
Tabla 9. Parámetros de diseño II.....	65
Tabla 10. Errores de muestreo y ensaye.....	66
Tabla 11. Resumen de los Recursos Minerales.....	66
Tabla 12. Recursos minerales in situ de acuerdo a la ley de corte.....	67
Tabla 13. Recursos minerales diluidos de acuerdo a la ley de corte.....	71
Tabla 14. Evaluación de recursos que pasan a reservas.....	74
Tabla 15. Reservas Minerales Totales.....	75
Tabla 16. Parámetros para la valorización – Enfoque Tradicional.....	81
Tabla 17. Parámetros Económicos – Enfoque Tradicional.....	81
Tabla 18. Distribución de Inversión del Proyecto – Enfoque Tradicional.....	81
Tabla 19. Depreciación y Valor Residual – Enfoque Tradicional.....	81
Tabla 20. Cálculo del Costo Promedio Ponderado – Enfoque Tradicional.....	81
Tabla 21. Flujo de Caja Libre Antes de Impuestos y Participaciones – Enf. Tradicional.....	82
Tabla 22. Estado de Resultados – Enfoque Tradicional.....	83
Tabla 23. Flujo de Caja Libre Después de Impuestos y Participaciones – Enf. Tradicional...84	
Tabla 24. Servicio Deuda del Proyecto – Enfoque Tradicional.....	85
Tabla 25. Utilidad antes de Impuestos y Participaciones – Enfoque Tradicional.....	85
Tabla 26. Determinación del Escudo Fiscal de Gastos Financieros – Enf. Tradicional.....	85
Tabla 27. Flujo de Caja Financiero del Accionista – Enfoque Tradicional.....	86
Tabla 28. Resumen Económico con Modelo Break-Even – Enfoque Tradicional.....	87
Tabla 29. Parámetros para la valorización – Enfoque Moderno.....	87

Tabla 30. Distribución de Leyes Equivalente de Ag Promedio generadas con Economic Planner – Enfoque Moderno.....	87
Tabla 31. Parámetros Económicos – Enfoque Moderno.....	88
Tabla 32. Distribución de Inversión del Proyecto – Enfoque Moderno.....	88
Tabla 33. Depreciación y Valor Residual – Enfoque Moderno.....	88
Tabla 34. Cálculo del Costo Promedio Ponderado – Enfoque Moderno.....	88
Tabla 35. Flujo de Caja Libre Antes de Impuestos y Participaciones – Enfoque Moderno...	89
Tabla 36. Estado de Resultados – Enfoque Moderno.....	90
Tabla 37. Flujo de Caja Libre Después de Impuestos y Participaciones – Enf. Moderno.....	91
Tabla 38. Servicio Deuda del Proyecto – Enfoque Moderno.....	92
Tabla 39. Utilidad antes de Impuestos y Participaciones – Enfoque Moderno.....	92
Tabla 40. Determinación del Escudo Fiscal de los Gastos Financieros – Enf. Moderno.....	92
Tabla 41. Flujo de Caja Financiero del Accionista – Enfoque Moderno.....	93
Tabla 42. Resumen Económico con Modelo Break-Even – Enfoque Moderno.....	94
Tabla 43. Consolidado de Resultados Modelo Tradicional vs Modelo Moderno.....	94
Tabla 44. Análisis de Sensibilidad del VPN - Enfoque Tradicional.....	95
Tabla 45. Análisis de Sensibilidad del VPN - Enfoque Moderno.....	96



## 1. RESUMEN

Los inversionistas de proyectos mineros y gerentes de las operaciones mineras buscan siempre poseer la mayor rentabilidad de las inversiones que realizan en el sector de la explotación de recursos con altas leyes de mineral. La ley de corte o cut-off grade toma un papel preponderante a la hora de toma de decisión respecto la viabilidad económica por parte de un inversionista o gerente. En el presente trabajo de investigación se establece la ley de corte óptima de un cuerpo mineralizado hipotético con el objetivo maximizar el valor presente neto de la operación subterránea, determinando como afecta el cambio de ésta en el planeamiento de la mina. El trabajo de investigación se desarrolla haciendo uso fundamentalmente de la fórmula matemática planteada por K. Lane como base de la metodología. Conjuntamente, se hace una revisión bibliográfica de trabajos relacionados con el tema, que sirvieron como guía para la elaboración de este documento. Basados en la distribución de la curva ley-tonelaje del cuerpo mineralizado hipotético se elabora el plan de explotación de la mina subterránea con la ley de corte obtenida generando una variación del algoritmo original. Para llevar a cabo la optimización de cut-off grade y obtener el mayor beneficio económico durante el LOM es importante trabajar con la relación del valor presente neto y el cut off grade. Se hará una comparativa de resultados entre el modelo tradicional (Modelo Break-Even) y el propuesto por nosotros modelo Moderno (Lane- Heurístico) donde se debe analizar su viabilidad económica por medio de una evaluación económica usando el VPN y TIR como indicadores. Finalmente, se muestran las conclusiones con respecto al valor presente neto de la mina con un análisis de sensibilidad, conseguidas al contrastar los resultados obtenidos con este enfoque moderno y los obtenidos usando el método tradicional para el cálculo de la ley de corte.

Los softwares utilizados en este trabajo será el MineSight para el Modelamiento de bloques y optimización en cada tajeo, Economic Planner que es un módulo de Minesight para la optimización de la ley de corte y Ms Excel para el procesamiento de datos.

## **2. ABSTRACT**

Investors of mining projects and managers of mining operations always seek to have the highest profitability of the investments they make in the resource exploitation sector with high ore cut-off. The cut-off grade takes a preponderant role when making decisions regarding the economic viability of an investor or manager. In this research work, the optimal cut-off grade of a hypothetical mineralized body is established with the objective of maximizing the net present value of the underground operation, determining how it affects the change in the planning of the mine. The research work is carried out fundamentally using the mathematical formula proposed by K. Lane as the basis of the methodology. Together, a bibliographic review of works related to the subject is made, which served as a guide for the preparation of this document. Based on the distribution of the cut off-tonnage curve of the hypothetical mineralized body, the exploitation plan of the underground mine is obtained with the cut-off law obtained by implementing a variation of the original algorithm. To carry out the optimization of cut-off grade and obtain the greatest economic benefit during the LOM, it is important to work with the ratio of the net present value and the cut off grade. A comparison of results will be made between the traditional model (Break-Even Model) and the one proposed by us Modern (Lane-Heuristic) model where its economic viability must be analyzed through an economic evaluation using the NPV and IRR as indicators. Finally, the conclusions regarding the net present value of the mine are shown with a sensitivity analysis, achieved by contrasting the results obtained with this modern approach and those obtained using the traditional method for calculating the cut-off grade .

The softwares used in this work will be the MineSight for Block Modeling and Optimization in each stope, Economic Planner that a Minesight module for the optimization of the cut-off grade and Ms Excel for data processing.

### **3. INTRODUCCIÓN**

La estimación de la ley de corte es una tarea fundamental dentro del proceso de cualquier proyecto minero. La elección de cut-off grade afecta el flujo de caja de la operación, y por tanto de sus herramientas económicas: Presente Neto (VPN), Tasa Interna de Retorno (TIR), Valor de Beneficio/Costo (BC), Tasa de Retorno de Crecimiento. Estas de gran importancia para la evaluación de rendimiento y evaluación de cualquier proyecto tanto en minería superficial y subterránea.

“La necesidad de optimización del cut-off grade depende de la secuencia de minado y capacidades de todo el sistema minero. La secuencia de extracción de bloques de mineral y desmonte involucra tres etapas: la mina, molino / planta de procesamiento y la planta de refinación/ comercialización. En la primera etapa, el material puede enviarse al botadero, dependiendo del grado de corte elegido. Esto eventualmente afectará los beneficios obtenidos de esta empresa.” (J. Githiria, 2016).

Con este trabajo se busca analizar el efecto que tiene sobre una operación minera subterránea la aplicación de estrategias para la elección de leyes de corte que busquen su optimización. El desarrollo de este trabajo tiene como propósito optimizar la ley de corte de la explotación de un proyecto minero con el objetivo de maximizar el valor presente neto (VPN) de la operación. Adicional, se pretende establecer como se ve afectado el programa de planeamiento de la mina con la política de ley de corte utilizada.

La planificación detallada juega un papel a menudo subestimado, pero no obstante esencial en el logro del alto rendimiento. Al identificar el potencial del valor en los recursos minerales del yacimiento mineral y elaborar una estrategia flexible y real óptima para la extracción que considere todas los escenarios, dado que un buen proceso de planificación minera proporciona la base para un alto rendimiento y productividad. En este ámbito de planificación estratégica, el alto rendimiento no es tener una producción con bajo costo por tonelada o una alta productividad de la flota de equipos, sino que se define mediante la creación de mayor valor para las partes interesadas de una mina. Una mina de alto rendimiento es aquella que tiene una estrategia optimizada y alinea sus operaciones con la intención estratégica a largo plazo.

La reducción de la productividad minera tanto en términos de volumen como de costo durante el auge de la minería, junto con los menores precios de los productos básicos y la confianza de los inversionistas que ha prevalecido en los últimos años, ha dado lugar a un aumento de productividad y reducción de costos. Estas acciones eran requeridas para hacer frente a la rápida caída de los precios de los metales y bajo nivel de confianza de los inversores, así como a las ineficiencias que se habían convertido en la norma durante un período sostenido de altos precios de los minerales. Por ello un enfoque estratégico que apuesta por la creación de valor que potencialmente ofrece a los mineros la mayor oportunidad de mejorar el rendimiento general y mantener su competitividad.

#### **4. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

“Los inversionistas tienen un gran nivel de incertidumbre en los proyectos de inversión en minería asociada con la inestabilidad de precios y la inestabilidad en los costos del ciclo de minado han llevado a que este tipo de inversiones estén involucradas en condiciones de riesgo hacia futuro. Por esta razón y con el fin de maximizar el retorno en las inversiones, la ley de corte crítica se ha convertido en el parámetro de decisión que determina la viabilidad económica de cada proyecto”. Franco, G. Velilla, D. (2014). Además, del procedimiento para la selección de la efectiva ley de corte optima planteada por Lane desde 1964 y plasmada en su libro (The Economic Definition of Ore Cut-Off Grades in Theory and Practice) en 1988 y sobre la cual se han estado desarrollando todos los modelos de optimización de ley de corte que se han trabajado a lo largo las últimas décadas no toman en cuenta todos los parámetros según un enfoque estratégico.

Tenemos antecedentes en publicaciones de autores como Dimitrakopoulos y Asad (2013), “los cuales han identificado que la mayoría de los modelos de optimización de ley de corte no tienen en cuenta los aspectos de incertidumbre como el suministro del tipo de mineral proveniente de mina, o la incertidumbre geológica relacionada con la cuantificación de las reservas con la que se cuentan para el desarrollo del proyecto y mucho menos aspectos relacionados con la fluctuación de precios en los mercados, lo cual hace que se genere un impacto negativo al desarrollar flujos de cajas que no están acordes con la realidad del proyecto”. Con lo anterior entonces se hace necesario desarrollar un enfoque moderno con el que se abarquen escenarios de variabilidad que se ajusten a la realidad que se tiene hoy en día para este tipo de negocios y sobre los cuales se logren analizar los diferentes componentes que influyen en las tres restricciones planteadas por Lane el modelo económico en el cálculo de la ley de corte: mina, planta y mercado teniendo como apoyo optimizaciones computacionales gracias al software minero: Minesight.

Sabiendo que según datos del Ministerio de Energía y Minas: “El 38% de las unidades de operaciones mineras del Perú utilizan el método de explotación subterránea destacando las minas polimetálicas de Nexa, Volcan, Morococha, Casapalca, San Vicente; mina de estaño de San Rafael; minas de oro de Marsa, Poderosa, Horizonte, entre otras.”

Con todo ello, en base a lo que los diferentes investigadores han venido trabajando recientemente surge una pregunta de investigación: ¿De qué manera se puede maximizar el valor presente neto en operaciones mineras subterráneas a pesar de la inestabilidad asociada a la volatilidad de los precios de los minerales en los mercados actuales optimizando la ley corte del proyecto?

Por esto último, este trabajo de investigación apunta a avanzar en el estudio de la optimización de la ley de corte planteando un modelo mixto del modelo Lane y el modelo Heurístico en la incertidumbre asociada a los precios de los minerales para un caso en particular de un depósito polimetálico para la maximización del valor presente neto.

## **5. OBJETIVOS**

### **5.1. OBJETIVO PRINCIPAL**

Determinar si la optimización en las leyes de corte en un proyecto minero subterráneo influye para maximizar el VPN mediante el modelo de Kenneth F. Lane - Heurístico.

### **5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Analizar a profundidad los métodos utilizados para determinar la ley de corte, así como para comprender los factores y las dinámicas claves involucradas en una operación minera.
- Elaborar un modelo basado en la programación dinámica y computacional para optimizar la ley de corte en minas subterráneas.
- Aplicar la metodología utilizada para un caso de estudio en una operación subterránea.

## **6. METODOLOGÍA**

- a) Identificar componentes y variables en el ciclo de minado.
- b) Identificar factores en función de costos e inversión.
- c) Estimar la cantidad de recursos de mineral en base al modelo de bloques.
- d) Elección del Método de Minado – Trade Off
- e) Estimar las reservas de mineral del proyecto minero, en base al Break Even Cut Off (BECOFF) del proyecto minero.
- f) Realizar diseño de infraestructura según el método de minado elegido.
- g) Realizar el diseño de tajeos optimizados con el MineSight Schedule Optimizer, (MSSO) en base al Cut Off estimado.
- h) Estimación de la ley de corte constante con el enfoque tradicional (Break-Even) con el Economic Planner de Minesight.
- i) Realizar la Optimización de las leyes de corte con el enfoque moderno (K. Lane – Heurístico) con el Economic Planner de Minesight.
- j) Evaluación económica del proyecto minero en base al Valor Presente Neto (VPN) y la Tasa de Interna de Retorno (TIR).
- k) Análisis de sensibilidad y de resultados.
- l) Conclusiones.

En la industria minera, la ley de corte es posiblemente la política y parámetro de funcionamiento de la operación más importante. Su valor afecta directamente la economía, el

planeamiento, operaciones y la vida de una mina; ya que altera la proporción del depósito que se considera económico. Como tal, un análisis detallado de los métodos óptimos para el cálculo de la calificación de una ley de corte es un esfuerzo que vale la pena, ya que el uso de una metodología de ley de corte equivocada va tener graves consecuencias financieras.

La metodología vendrá de los modelos para la elección de cut-off grade, Hall (2014) define un modelo para el cut-off como la imagen mental de qué, por qué y cómo se puede calcular un cut-off grade, es decir, "qué" es un cut-off grade (definición), "por qué" es necesario (objetivo) y "cómo" calcularlo (método de cálculo). Se identifican tres tipos de modelos de cut-off grade (Break-Even cut-off, Modelo Heurístico y Modelo de K. Lane); sin embargo, debido a los objetivos del presente trabajo de investigación, se hará un contraste entre ellos para el equilibrio del cut-off grade: Modelo de Break- Even (Equilibrio) vs Síntesis del modelo de Lane y el Modelo Heurístico. Luego, basado en Lane (1997), Hall (2014), Rendu (2014) y Asad (2016), la figura 1 resume la estructura de los modelos:

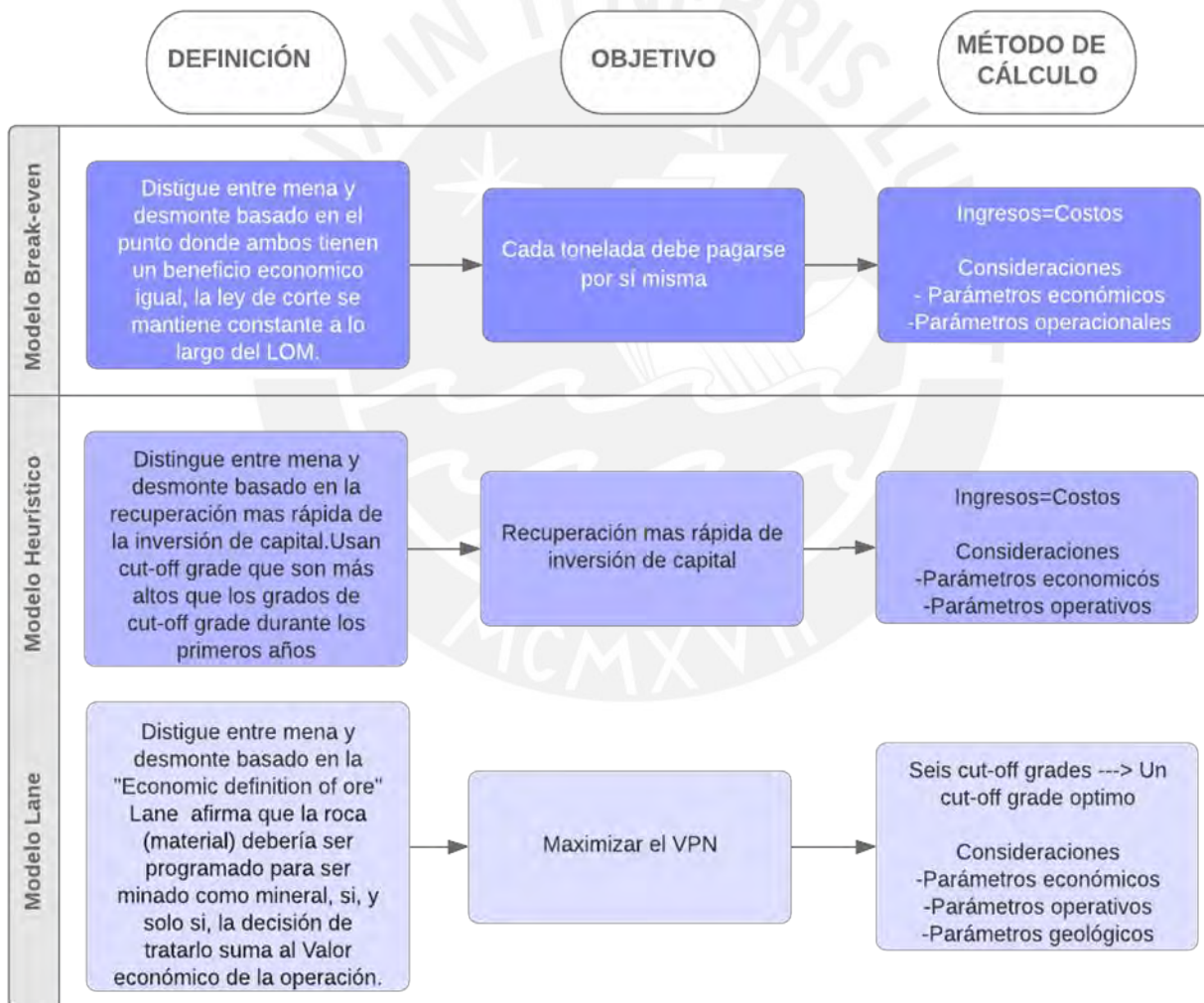


Figura 1. Resumen de la estructura de los tres modelos del cut-off grade. Elaboración propia

La figura 2 ilustra las entradas, salidas y el punto de decisión de la aplicación de modelos de cut-off grade, donde las salidas se centran en determinar una política de cut-off grade, junto con la cantidad correspondiente de roca a minada, la cantidad y la ley promedio de mineral a ser tratado y la cantidad de metal a producir (Asad, 2016); el punto de decisión ahora es

determinar la cantidad de roca que será considerado mineral que se enviará a la planta de tratamiento o stockpile y que roca será considerado desmonte.

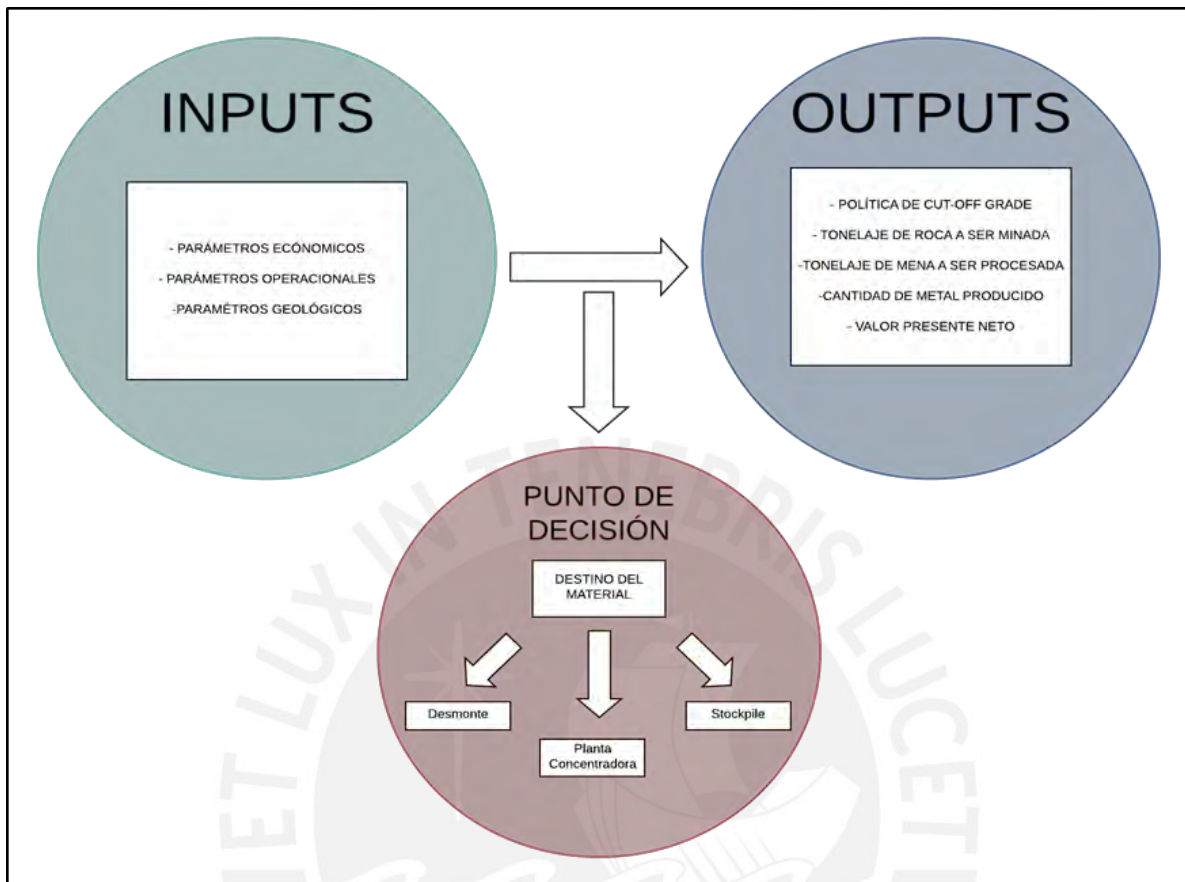


Figura 2. Punto de decisión en el cut-off grade para el destino del material. Elaboración propia

La etapa de planificación de mina es un proceso de mejora continua e implementación para lograr los propósitos y objetivos, con capacidad de:

- Alcanzar el o los objetivo esperados, no obstante, de ser una planificación de mina a largo plazo, reconociendo en el camino problemas fortalezas, debilidades, amenazas y sistemáticamente oportunidades de negocio.
- Ejecutar un excelente enlace entre agentes endógenos y exógenos, así como también con los recursos de la empresa y sus competidores; debe ser posible y adecuada, exponiendo la visión y objetivos estratégicos de la empresa y materializándolos en resultados operativos.
- Tener capacidad de brindar a la empresa una ventaja competitiva; debería ser único y sostenible a largo plazo.
- Ser dinámica, flexible y con facilidad de adaptarse a los escenarios variables.

Una tarea completa de planificación y operación de una mina involucra al menos tres componentes:

- Un componente técnico.
- Un componente económico estrechamente enfocado.
- Un componente económico de base más amplia, que incluye elementos sociales, financieros y comerciales que influyen en el desempeño de la mina dentro de la industria en general.

## **6.1. METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN DE PROYECTOS MINEROS DE INVERSIÓN**

Según la metodología desarrollada por el Ing. Fernando Gala indica que se debe:

- a) Mostrar los supuestos principales del proyecto, para cada año de vida del proyecto (inversiones, ingresos, costos).
- b) Calcular los gastos que no son efectivo, pero que implican un escudo fiscal para el proyecto (depreciación de activos fijos, amortización de activos intangibles). Calcular valor residual del proyecto.
- c) Calcular (para el caso de evaluación del accionista) la tabla del servicio de deuda del proyecto (incluyendo los gastos financieros y la amortización de la deuda).
- d) Construir el estado de ganancias y pérdidas proyectado, para determinar los impuestos que pagará el proyecto (Impuesto a la Renta, Regalías Mineras, Impuesto Especial ó Gravamen Minero, Participación de los Trabajadores).
- e) Determinar la tasa de descuento del proyecto (costo ponderado de capital para la evaluación económica del proyecto y costo de oportunidad del accionista para la evaluación financiera).
- f) Construir el flujo de caja económico del proyecto
- g) Construir el flujo financiero del proyecto (evaluación accionista) incluyendo el escudo fiscal de los gastos financieros.
- h) Determinar la rentabilidad (económica y financiera) del proyecto.
- i) Hacer análisis de sensibilidad y riesgo del proyecto.
- j) Analizar los resultados.

## **7. MARCO TEÓRICO**

### **7.1. ANTECEDENTES**

- Lane K F. (1964) Choosing the optimum cut-off grade. Colorado School of Mines Quarterly Vol 59 No 4.
- Lane K F. (1988) The Economic Definition of Ore (Mining Communications Ltd., London).
- Hall B. (2014) Cut-Off Grades and Optimising the Strategic Mine Plan (Australasian Institute of Mining and Metallurgy, Carlton, Victoria, Australia).

- Hustrulid W. (2001) Underground Mining Methods: Engineering Fundamentals and International Case Studies (Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Littleton, CO).
- Rendu, J.M. (2008). Introduction. An introduction to cut-off grade estimation. United States of America: Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc.
- Rendu, J.M. (2009). Cut-Off Grade Estimation – Old Principles Revisited – Application to Optimisation of Net Present Value and Internal Rate of Return pp. 165-169. Orebody Modelling and Strategic Mine Planning. Perth, WA.
- Bascetin, A. & Nieto, A. (2007). Determination of optimal cutoff grade policy to optimize NPV using a new approach with optimization factor. The southern African Institute of Mining and Metallurgy.
- Bascetin, A., Tuylu, S. & Nieto, A. (2011). Influence of the ore block model estimation on the determination of the mining cutoff grade policy for sustainable mine production. Environ Earth Sci.
- Dagdelen, K. (1992). Cutoff grade optimization. Homestake Mining Company, 7, pp. 32-40.
- Nieto, A. & Bascetin, A. (2006). Mining cutoff grade strategy to optimize NPV based on multiyear GRG iterative factor. Mining Technology
- Nieto, A. & Zhang K. (2013). A Cut-Off Grade Economic Strategy for a By-Product Mineral Commodity Operation: A Rare Earth Case Study, Mining Technology, Vol. 122, No. 3, pp. 166-171.
- J. Githiria and C. Musingwini. (2018). Comparison of cut-off grade models in mine planning for improved value creation based on NPV (University of the Witwatersrand, Johannesburg, South Africa).

## 7.2. FORMULACIÓN MATEMÁTICA METODOLOGÍA DE K. LANE

De acuerdo a lo indicado por Rendu (2008), se aplica la siguiente formula:

Sea  $x$  el valor de un parámetro que debe ser tomado en cuenta para determinar el destino al cual el material debe ser enviado. En casos simples, un solo parámetro puede ser suficiente para definir el destino, tal como la ley de cobre u oro. En otros casos, un conjunto de parámetros puede ser considerados tales como la ley de oro y plata, contenido sulfúrico, contenido de arcilla, y porcentaje de elementos nocivos.

El valor, o utilidad, de mandar una tonelada métrica de material con el valor de parámetro (ley) al destino 1 (Proceso 1) es  $U_1(x)$ . La utilidad de enviar el mismo material al destino 2 (Proceso 2) es  $U_2(x)$ . La ley de corte  $x_c$  es el valor para el cual:

$$U_1(x_c) = U_2(x_c)$$

Si  $U_1(x)$  excede a  $U_2(x)$ . por un  $x$  más grande que  $x_c$ , entonces todo el material por el cual  $x$  es más grande que  $x_c$  debe ser enviado al Proceso 1.

Como se indicó en la introducción, la elección de la ley de corte está gobernada primariamente por objetivos financieros. Sin embargo, las consecuencias de escoger una ley de corte dada son complejas y no todas son de naturaleza financiera. Cuando se estima la ley de corte, todas las variables controlables deben ser tomadas en cuenta. Para facilitar el proceso de utilidad  $U(x)$  de mandar material de grado  $x$  a un proceso dado es expresado como la suma de tres partes:

$$U(x) = U_{dir}(x) + U_{opp}(x) + U_{oth}(x)$$

En esta ecuación,  $U_{dir}(x)$  representa el beneficio o pérdida directo que se incurrirá del procesamiento de una tonelada métrica de material de grado  $x$ .  $U_{opp}(x)$  representa el costo de oportunidad o beneficio de cambiar el procesamiento programado adicionando una tonelada métrica de ley  $x$  al flujo de material. Este costo de oportunidad es considerado solo cuando hay restricciones que limitan cuantas toneladas métricas pueden ser procesadas en un tiempo dado. Otros factores deben ser considerados en el cálculo de la ley de corte pero que no pueden ser cuantificables, es representado por  $U_{oth}(x)$ .

Lane establece un cálculo definitivo del criterio de VPN utilizando flujos de efectivo secuenciales de la extracción de reservas minerales.

### 7.3. CONCEPTOS CRÍTICOS DE K. LANE

En su artículo de 1964 (y más tarde en su libro publicado en 1988), Lane identificó los conceptos de:

- Cut off óptimo: Es el cut off configurado para lograr un objetivo optimizado (en este caso, maximizar el VPN).
- Política de Cut-off: Una secuencia planificada de los cut-off grade a lo largo del tiempo. El uso de una política de cut-off grade óptima maximizará el VPN restante en cada año de la vida útil de la mina. Los cut-off grade constantes, que generalmente se usan en minas en operación, a menudo son incompatibles con esto.
- Cut-off de equilibrio: Es el cut off que garantiza que dos de los tres componentes del sistema de producción (para roca, mineral y producto) estén funcionando a su capacidad. Esta es una función de la geología y las capacidades de la planta, y no está relacionada con los costos y precios, pero a menudo será el límite óptimo para aplicar.
- Costo de oportunidad: Es el costo a lo que hay que renunciar y es un término importante porque busca el mejor aprovechamiento de los recursos escasos.

Por ejemplo, se puede extraer hasta el punto de equilibrio marginal para "llenar el molino" si hay un déficit en el suministro de mineral, pero esto solo es válido mientras el material de baja ley no esté desplazando la alimentación de mayor ley.

El costo de oportunidad cuantifica la medida en que dicho desplazamiento puede ocurrir económicamente, y la metodología de Lane lo explica automáticamente en el proceso de optimización de ley de corte.

Rendu (2008) dijo que en minas subterráneas un tajeo debería ser minado si el VPN de los flujos de caja generados es positivo. Los costos y beneficios deberían ser tomados en

cuenta, así como cuando estos costos y beneficios son realizados. Esto incluye el costo de preparación; desarrollo del tajeo (tales como chimeneas y galerías de acceso); el costo de movimiento el desmonte, apilamiento y re-manipulación; el costo de minado del mineral, apilamiento, re-manipulación, y procesamiento; y todos los costos asignados a las pilas de baja ley, si las hay. Los ingresos incluyen aquellos incurridos del procesamiento de mineral directamente enviado a planta, así como aquellos realizados en una fecha posterior de stockpile de baja ley.

Si no hay restricción de capacidad, todo el material que puede generar un flujo de caja positivo si es procesado cuando es minado, será procesado. Pero la optimización del proyecto invariablemente resulta en restricciones de capacidad, tales como los impuestos por el pique y capacidad de izaje, ventilación, velocidad máxima de desarrollo, o método de minado, Estas restricciones resultarían en un costo de oportunidad diferente a cero y leyes de corte más altas. Cuando las restricciones de capacidad son tomadas en cuenta, las dimensiones del mismo tajeo son probablemente reducidas, y algunos tajeos no serán más considerados económicamente minables.

La metodología de K. Lane y el algoritmo de optimización heurístico de la ley de corte respecto a la minería subterránea, en su forma más simple supone una secuencia respecto del ciclo de minado predefinida que produce una sola fuente de material mineralizado desde la mina hacia la planta concentradora. El mineral se separará de la roca, con el producto extraído posteriormente del mineral. Por lo tanto, la metodología intenta optimizar las leyes de corte elegidas a lo largo de la vida de mina teniendo en cuenta los factores tanto externos e internos de la operación.

Asimismo, se debe tomar en consideración las capacidades máximas de velocidad de producción (mina) y de procesamiento (planta concentradora) y venta (comercialización) de los flujos de material (roca, mineral y producto), aunque pueden incluir cambios de capacidad con el tiempo (por ejemplo: incremento de reservas y ampliación de capacidad de planta concentradora).

Ya se ha observado que, en una operación subterránea, la roca es típicamente el material mineralizado total. Se separa en mineral y desmonte por planificadores que crean modelos de bloques para tajeos respecto a la ley de corte: la roca dentro de los límites de diseño se extrae como mineral mientras que el resto permanece in situ como desmonte (porcentaje de dilución tanto planificada como no planificada).

Para encontrar el cut off óptimo para el material mineralizado disponible que potencialmente puede clasificarse como reserva, es necesario tener claro la etapa a la cual pertenecen cada uno de los costos de desarrollo, preparación, explotación, procesamiento y comercialización como costos de minería en etapa del proceso por el cual pasa el mineral en mina, planta concentradora y refinería. Además, se tiene una capacidad de minado que está sujeto al plan de minado y la cantidad de reservas que tiene el yacimiento, también tendremos otra restricción en planta porque tiene una capacidad de tratamiento del mineral de cabeza para luego obtener el concentrado, y finalmente una restricción de mercado, el cual está sujeto a la demanda y oferta del mercado a un precio stock o futuro.

La optimización heurística de la ley de corte parte desde 1964 cuando K.Lane redacta un escrito sobre la elección de la ley de corte óptima, en 1988 plasma en su libro los

fundamentos sobre los cuales se han venido desarrollando los diferentes modelos de estimación de la ley de corte con los que se cuentan en la actualidad, Lane además de tener en cuenta un curva de ley-tonelaje y una planta de procesamiento constante para obtener la ley óptima del proyecto, también tiene en cuenta una ley óptima condicionada por el suministro de mineral (mina), su procesamiento (planta), y su distribución (mercado), la cual busca como fin único la maximización de la sumatoria de los flujos de caja actualizados que se producen en la operación minera.

A partir de Lane se han desarrollado diferentes modificaciones de este modelo hasta la actualidad, la mayoría de estos trabajando bajo parámetros determinísticos. En 1992 Dagdelen describe los pasos del algoritmo que plantea Lane y en 1993 plantea la implicación que dicho algoritmo tiene en valor presente neto (VPN) del proyecto. En 2001 King analiza el rendimiento de la ley de corte para la variación de diferentes tipos de elementos en una mineralización y posteriormente en 2002 Asad vuelve y retoma un enfoque general de lo que es el algoritmo como tal, explicando los pasos con los que esta cuenta.

La base para esta optimización K. Lane la ley de corte debe estar parametrizada:

#### 7.4. COMPONENTES DEL PROCESO MINERO

Son tres componentes principales en una operación minera relacionados con los procesos de toda la operación, material mineralizado, mena y mineral. La interpretación de cada uno depende del tipo de mina:

- a) Material Mineralizado
- b) Mena
- c) Mineral

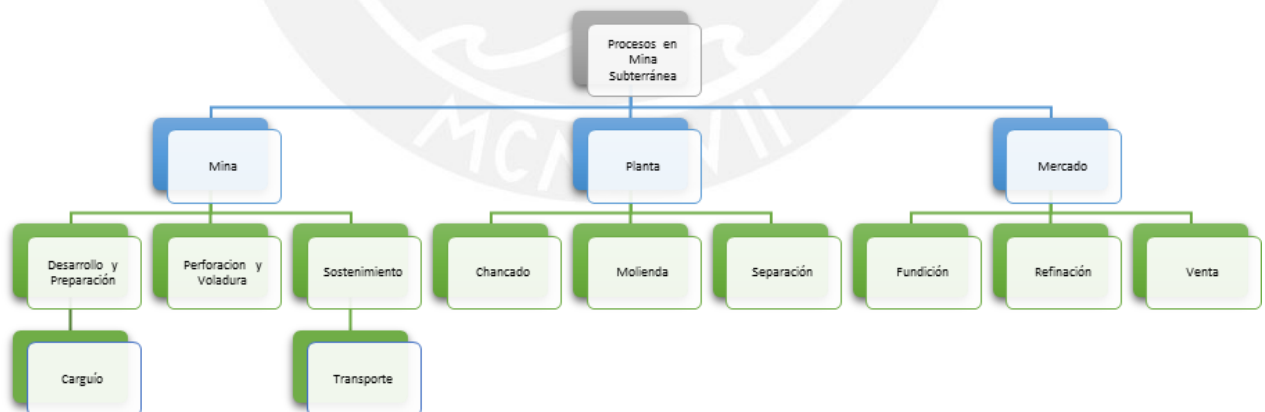


Figura 3. Componentes de K. Lane

De manera general entonces, existen elementos que son determinados como costos fijos de mina, de planta o de mercado y que deben ser estimados, trabajados y agregados al grupo de costos fijos normales tales como administración y gastos generales. Se considera importante establecer que el término “fijo” es relativo ya que el costo varía con el tiempo.

COMPONENTE	PRODUCTO	COSTO VARIABLE (/unidad de rendimiento)	CAPACIDAD (rendimiento/año)
MINA	MATERIAL MINERALIZADO	m	M
PLANTA	MENA	h	H
MERCADO	MINERAL	k	K

Tabla 2. Variables de los procesos

## 7.5. LÍMITES ECONÓMICOS

Se deben tener en cuenta que la minería está sujeta a la variación de los precios, pero también a los límites tanto de mina y planta asimismo del mercado.

- a) Restricción de Mina
- b) Restricción de Planta
- c) Restricción de Mercado

Como dice Libro de Planeamiento de Minado de la Universidad Nacional de Piura: “El proceso de la planificación estratégica debe de ser capaz de definir y evaluar los siguientes elementos claves:

- Cantidad de reservas existentes en el yacimiento con el objetivo de definir la envolvente económica existente.
- Límites operacionales, capacidades de operación tanto de la mina como del proceso de producción de planta, para lograr un proceso lo más sincronizado posible a través del manejo de las leyes de corte
- Secuencia de extracción para definir la forma en que las reservas serán extraídas de la mina a través del tiempo.
- Crear planes de producción preliminares, permitiendo comparar escenarios y elegir los más convenientes para su desarrollo posterior.
- Optimizar el negocio minero a través de la utilización de políticas de leyes de corte optimizado.
- Evaluar escenarios económicos buscando oportunidades de negocio, amparado en la utilización de nuevas tecnologías, su efecto en reducción de costos y productividad, etc.”

## 8. MARCO CONCEPTUAL (DEFINICIÓN DE TERMINOS)

- **PLANEAMIENTO ESTRATÉGICO:** Es un proceso que permite asegurar el desarrollo presente y futuro de la organización (Empresa, Municipalidad, Centros de Salud, Universidades, Institutos, etc.)

El planeamiento estratégico se expresa en un documento denominado “Plan Estratégico”

que comprende un conjunto de actividades que se ejecutarán en un periodo de 5 años hacia el futuro. Aquí se debe hacer una diferencia con el Plan Táctico que tiene un periodo de trabajo de 1 año hasta menos de 5 años y por último el Plan Operacional que tiene un periodo menor a un año.

Realiza el análisis de la situación, es decir analiza la situación del entorno externo e interno. Concreta las ideas en planes y programas de acciones definidas en el tiempo y espacio. Formula objetivos verificables y medibles, que se traducen en resultados. Todo este proceso se expresa en un Plan Estratégico.

- **EL PLAN ESTRATÉGICO MINERO:** “El plan de la mina y términos similares se relacionan con el proceso de extracción total de material valioso desde el yacimiento hasta el punto de venta del producto. Se supone que estos términos mineros incluyen:
  - La perforación, voladura, carga, acarreo y procesos típicamente asociados con la mina para extraer mineral y desechos relacionados.
  - Los procesos de tratamiento metalúrgico realizados en el mineral para extraer productos valiosos en la planta o la fábrica.
  - Los procesos integrados de fundición y refinación o procesos posteriores similares para agregar valor a un producto ya vendible (como la fundición de un concentrado de metal base) si la operación o la empresa cuentan con tales instalaciones.
  - El transporte de todos los productos al punto de venta, teniendo en cuenta las limitaciones físicas o de mercado en la cantidad de productos que se pueden manipular o vender en el mercado.

La razón de este uso es que la optimización del plan de negocios corporativo para una operación u operaciones múltiples debe tener en cuenta el flujo completo del proceso, desde que los geólogos identifiquen y describan la mineralización hasta la venta final y el recibo de ingresos. Si bien en la práctica es posible limitar una evaluación a una parte del proceso, como la mina, y asumir que todos los demás procesos no van a cambiar, la realidad es que no se puede garantizar que la suboptimización de los componentes de un proceso complejo sea el mejor plan general. Esto solo se puede hacer si todo el proceso se considera en conjunto en un conjunto integrado de evaluaciones de cada parte del ciclo de minado” (Hall B, 2014). La planificación minera se encarga de diseñar la mejor estrategia productiva, en función de las reservas minerales existentes y las estrategias de negocios establecidas por la compañía minera.

- **CUT OFF:** “Cut off es simplemente un número que indica el punto entre dos cursos de acción alternativos. El material con una calificación superior al límite se trata de una manera, mientras que el material con una calificación inferior al límite se trata de otra manera. En particular, se utiliza un límite para distinguir entre mineral y desecho: el material con una ley superior al límite es mineral y debajo del límite es el desperdicio.

Existen, por supuesto, numerosos límites que pueden especificarse. Otros límites comunes

son para las reservas de mineral que se tratarán en algún momento después de que se haya extraído, en lugar de inmediatamente. Esto a menudo se divide en una serie de categorías, como grado alto, medio y bajo, en función del metal primario o la medida del valor, y / o en función de los grados de los componentes nocivos. Otros Cut Offs, comúnmente conocidos como Cut Off grade, separan el mineral en componentes para ser tratados por diferentes procesos; típicamente, el material de mayor grado irá a un proceso de mayor recuperación, pero de mayor costo, mientras que las calificaciones más bajas irán a un proceso de menor recuperación, pero de menor costo.” (Hall B, 2014).

- **LEY DE CORTE (CUT OFF GRADE):** Rendu (2008) define “La ley de corte es generalmente definida como la cantidad mínima de producto valioso o metal que una tonelada métrica (esto es, 1,000 kilogramos) de material debe contener antes que este material sea enviado a la planta de procesamiento. Esta definición se usa para distinguir el material que debe ser minado o debe ser enviado a botadero de aquel material que debe ser procesado. La ley de corte es también usada para decidir el destino del material minado cuando dos o más procesos están disponibles, tales como lixiviación en pilas y molienda. La ley de corte es usada para decidir si el material debe ser apilado para procesarlo en el futuro o procesarlo inmediatamente. La ley de corte define la rentabilidad de una operación minera, así como la vida de mina”.

Aunque se puede emplear una amplia variedad de unidades, la ley de corte se expresa normalmente como:

- ✓ g /t (gramos por tonelada)
- ✓ \$ /t (dólares por tonelada)
- ✓ % (Porcentaje de metal)

- **CURVAS DE TONELAJE – LEY DE CORTE:** Rendu (2008) define “Las curvas grado-tonelaje son una representación visual del impacto de los grados de corte en las reservas minerales. Las curvas de tonelaje de grado muestran el tonelaje por encima de la ley de corte y el promedio de un depósito en relación con la ley de corte. A medida que los criterios para la clasificación del mineral se hacen más selectivos, el tonelaje por encima de la ley de corte del depósito disminuye. Por el contrario, a medida que se reduce la ley de corte, aumenta el tonelaje del depósito. Esto se debe simplemente a que la norma utilizada para distinguir entre el mineral y el escombros se ha vuelto menos selectiva. A medida que la ley de corte aumenta, también lo hace el grado promedio del mineral extraído. Las curvas demuestran en última instancia cómo el grado promedio y el tonelaje de un material entregado a un cierto proceso dependen de la ley de corte seleccionado.

En primera aproximación, si  $T_{+c}$  representa el tonelaje y  $X_{+c}$  la ley promedio del material por encima de la ley de corte  $X_c$ , los ingresos por ventas son igual a  $T_{+c} * X_{+c} * r * V$ , donde  $r$  es la proporción de producto valioso recuperado durante el procesamiento y  $V$  es el valor de mercado del producto vendido.” La ley de corte también determina el tonelaje de material minado que no debe ser procesado. La Fig.2. muestra la relación entre la ley

de corte y el tonelaje y la ley promedio por encima de la ley de corte. Las curvas en este gráfico son conocidas como las curvas tonelaje-ley.

Establece de forma numérica los principales parámetros:

- ✓ Ley de corte.
- ✓ Tonelaje (o porcentaje del tonelaje).
- ✓ Ley media.

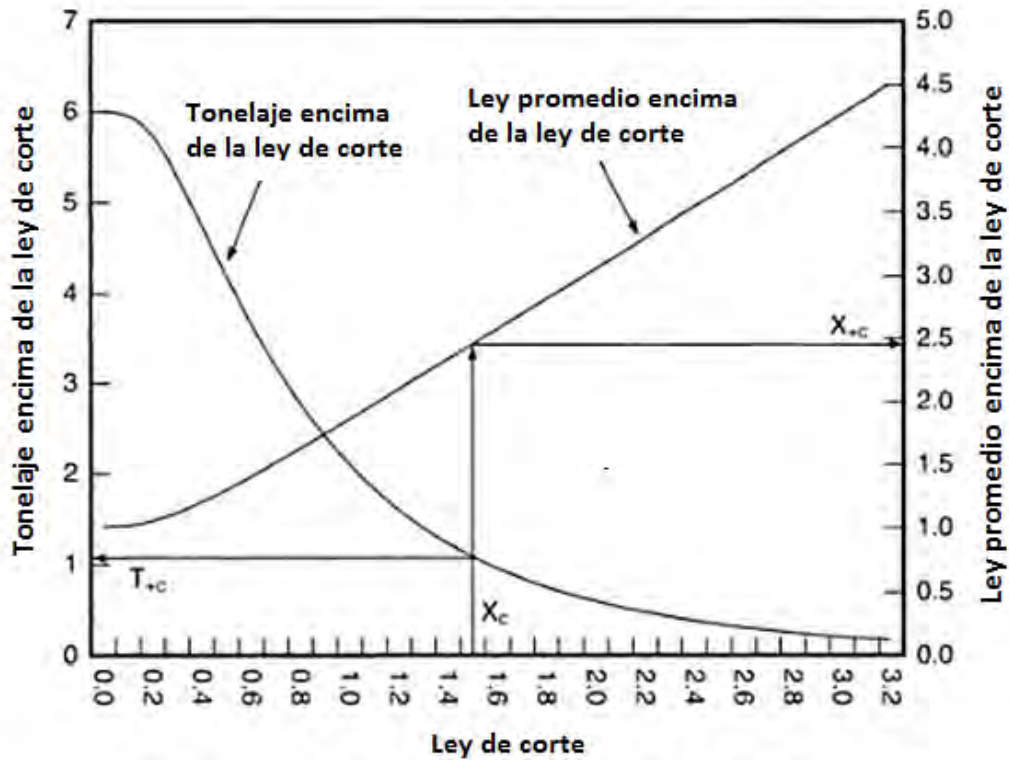


Figura 4. Curva Tonelaje – Ley

La Curva Tonelaje vs Ley de Corte es una herramienta para la toma de decisiones frecuentemente utilizada, la cual se refiere al tonelaje explotable de mineral y su grado medio para un conjunto dado de condiciones económicas. Es en la estimación del grado de tonelaje donde se producen la mayoría de los errores y sesgos por falta de una definición clara de los conceptos necesarios.

- **VALOR PRESENTE NETO (VPN):** El valor presente neto (VPN) o valor actual neto (VAN) es un criterio de inversión que consiste en actualizar los cobros y pagos de un proyecto o inversión para conocer cuánto se va a ganar o perder con esa inversión. Para ello trae todos los flujos de caja al momento presente descontándolos a un tipo de interés determinado. El VPN va a expresar una medida de rentabilidad del proyecto en términos absolutos netos, es decir, en número de unidades monetarias (euros, dólares, pesos, etc). Se utiliza para la siguiente fórmula para su cálculo:

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+k)^t} = -I_0 + \frac{F_1}{(1+k)} + \frac{F_2}{(1+k)^2} + \dots + \frac{F_n}{(1+k)^n}$$

- ✓  $F_t$  son los flujos de dinero en cada periodo  $t$
- ✓  $I_0$  es la inversión realiza en el momento inicial ( $t = 0$ )
- ✓  $n$  es el número de periodos de tiempo
- ✓  $k$  es el tipo de descuento o tipo de interés exigido a la inversión

El VPN sirve para generar dos tipos de decisiones: en primer lugar, ver si las inversiones son efectuales y en segundo lugar, ver qué inversión es mejor que otra en términos absolutos. Los criterios de decisión van a ser los siguientes:

- ✓ **VPN > 0:** El valor actualizado de los cobro y pagos futuros de la inversión, a la tasa de descuento elegida generará beneficios.
  - ✓ **VPN = 0:** El proyecto de inversión no generará ni beneficios ni pérdidas, siendo su realización, en principio, indiferente.
  - ✓ **VPN < 0:** El proyecto de inversión generará pérdidas, por lo que deberá ser rechazado.
- **TASA INTERNA DE RETORNO (TIR):** La Tasa interna de retorno (TIR) es la tasa de interés o rentabilidad que ofrece una inversión. Es decir, es el porcentaje de beneficio o pérdida que tendrá una inversión para las cantidades que no se han retirado del proyecto. Es una medida utilizada en la evaluación de proyectos de inversión que está muy relacionada con el valor actualizado neto (VAN). También se define como el valor de la tasa de descuento que hace que el VAN sea igual a cero, para un proyecto de inversión dado. Se utiliza para la siguiente fórmula para su cálculo:

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+TIR)^t} = -I_0 + \frac{F_1}{(1+TIR)} + \frac{F_2}{(1+TIR)^2} + \dots + \frac{F_n}{(1+TIR)^n} = 0$$

- ✓  $F_t$  son los flujos de dinero en cada periodo  $t$
- ✓  $I_0$  es la inversión realiza en el momento inicial ( $t = 0$ )
- ✓  $n$  es el número de periodos de tiempo

El criterio de selección será el siguiente donde “ $k$ ” es la tasa de descuento de flujos elegida para el cálculo del VAN:

- ✓ **Si  $TIR > k$ , el proyecto de inversión será aceptado. En este caso, la tasa de**

**rendimiento interno que obtenemos es superior a la tasa mínima de rentabilidad exigida a la inversión.**

- ✓ Si  $TIR = k$ , estaríamos en una situación similar a la que se producía cuando el VAN era igual a cero. En esta situación, la inversión podrá llevarse a cabo si mejora la posición competitiva de la empresa y no hay alternativas más favorables.
- ✓ Si  $TIR < k$ , el proyecto debe rechazarse. No se alcanza la rentabilidad mínima que le pedimos a la inversión.

- **MENA:** Este es el componente de tratamiento, está relacionado con el procesamiento del cuerpo mineralizado que de determina como mena, los costos son medidos por toneladas de mineral y la capacidad es el máximo rendimiento que la planta pueda manejar.
- **MATERIAL MINERALIZADO:** Este es el componente minero. Este incluye todo lo relacionado con la creación de acceso al cuerpo mineralizado y su extracción. Los costos son medidos por toneladas de material que se deben sacar para generar el open pit. En minas subterráneas, este componente llamado desarrollo y preparación.
- **MINERAL:** Este es considerado el componente de mercado incluyendo lo relacionado con fundición, refinería y ventas. Los costos son medidos por unidad de mineral y la capacidad está asociada con el límite en la producción.
- **RECURSO MINERAL:** Un recurso mineral es una concentración u ocurrencia de material sólido de interés económico en o sobre la corteza terrestre en tal forma, grado o calidad y cantidad que existen perspectivas razonables para una eventual extracción económica.

La ubicación, cantidad, grado o calidad, continuidad y otras características geológicas de un recurso mineral se conocen, estiman o interpretan a partir de evidencia y conocimiento geológicos específicos, incluido el muestreo.

- a) Un Recurso Mineral Inferido es aquella parte de un Recurso Mineral para el cual la cantidad, el grado o la calidad se estiman en base a evidencia geológica y muestreo limitados. La evidencia geológica es suficiente para implicar, pero no verificar la continuidad geológica y de grado o calidad.
- b) Un Recurso Mineral Indicado es aquella parte de un Recurso Mineral para el cual la cantidad, grado o calidad, densidades, forma y características físicas se estiman con suficiente confianza para permitir la aplicación de Factores Modificadores con suficiente detalle para apoyar la planificación minera y la evaluación de la viabilidad económica. del depósito.

La evidencia geológica se deriva de la exploración, el muestreo y las pruebas adecuadamente detallados y confiables, y es suficiente para asumir la continuidad geológica y de grado o calidad entre los puntos de observación.

- c) Un Recurso Mineral Medido es aquella parte de un Recurso Mineral para el cual la cantidad, el grado o la calidad, las densidades, la forma y las características físicas se estiman con la confianza suficiente para permitir la aplicación de Factores Modificadores para apoyar la planificación detallada de la mina y la evaluación final de la viabilidad económica. del depósito.

La evidencia geológica se deriva de la exploración, el muestreo y las pruebas detalladas y confiables, y es suficiente para confirmar la continuidad geológica y de grado o calidad entre los puntos de observación.

- **RESERVA MINERAL:** Una Reserva Mineral es la parte económicamente explotable de un Recurso Mineral Medido y / o Indicado. Incluye materiales de dilución y provisiones para pérdidas, que pueden ocurrir cuando el material se extrae o extrae, y se define mediante estudios a nivel de Prefactibilidad o Factibilidad, según corresponda, que incluyen la aplicación de Factores Modificadores. Dichos estudios demuestran que, en el momento del informe, la extracción podría estar razonablemente justificada.

Se debe indicar el punto de referencia en el que se definen las Reservas Minerales, generalmente el punto donde se entrega el mineral a la planta de procesamiento. Es importante que, en todas las situaciones en las que el punto de referencia sea diferente, como en el caso de un producto vendible, se incluya una declaración aclaratoria para garantizar que el lector esté completamente informado sobre lo que se informa.

La divulgación pública de una Reserva Mineral debe demostrarse mediante un Estudio de Prefactibilidad o un Estudio de Factibilidad.

- a) Una Reserva Mineral Probable es la parte económicamente explotable de un Recurso Mineral Indicado, y en algunas circunstancias, Medido.
- b) Una Reserva Mineral Probada es la parte económicamente explotable de un Recurso Mineral Medido. Una Reserva Mineral Probada implica un alto grado de confianza en los Factores Modificadores.



- **TIPO DE COSTOS:** (Carlton y Perloff, 1994) “Toda empresa necesita saber cuáles son los costos para producir sus productos si se trata de tomar decisiones comerciales sensatas. Hay una variedad de formas de presentar y aplicar costos, y algunos conceptos de costos son más apropiados para ciertos problemas que otros. Esta sección presenta algunos de los conceptos de costos más importantes. Estos son:
  - ✓ Costos fijos: Son los que se mantienen constantes en un periodo de tiempo determinado, sin importar el volumen de producción.
  - ✓ Costos variables: Son los que se cambian según el volumen de producción.
  - ✓ Costo de oportunidad: Son los que se genera al tomar una decisión que lleva consigo la renuncia a otra alternativa.
  - ✓ Costos directos: Son aquellos fácilmente identificables con el proceso productivo en la generación del producto; por ejemplo, la mano de obra y materiales ligados estrechamente a la producción.
  - ✓ Costos indirectos: Estos costos es difícil asociarlos con un producto o servicio en concreto.
  - ✓ Costos operativos: Son aquellos en los que incurre una empresa en el desarrollo de la propia actividad del negocio.
  - ✓ Costos hundidos: Son aquellos costes en los que ya se ha incurrido y no se podrán recuperar en el futuro. Incluyen el tiempo, el dinero u otros recursos que se gastaron en un proyecto, inversión u otra actividad y que no se podrán recuperar.
  - ✓ Externalidades”

- **RECONCILIACIÓN:** La reconciliación tiene la cualidad de ser el proceso de identificación, análisis y gestión de la diferencia entre los resultados planificados y los obtenidos; el proceso de reconciliación permite reconocer oportunidades de mejora en el ciclo de proceso de la operación minera.

Los objetivos básicos de la reconciliación son (Glacken y Morley, 2003):

- ✓ Medir el rendimiento de la operación contra los objetivos.
- ✓ Confirmar la precisión en la estimación de tonelajes y leyes de los recursos y reservas de mineral.
- ✓ Asegurar una valoración exacta de las reservas mineras.
- ✓ Proporcionar indicadores clave de rendimiento en la operación.

Los procesos de reconciliación pondrán al descubierto los problemas en la estimación de tonelajes y leyes, en los procesos de muestreo, en los métodos de extracción, problemas de procesamiento y una serie de otros problemas técnicos (Crawford, 2003). Estos problemas pueden ser analizados a fin de implementar medidas orientadas a la resolución de los mismos; “el resultado esperado de este ciclo será la mejora continua”

## **9. SISTEMA DE HIPOTESIS**

### **9.1. PROPÓSITO DEL CUT OFF**

La hipótesis principal del trabajo de investigación es que la optimización de la ley de corte influirá positivamente en el valor presente neto de un proyecto minero. El objetivo de un cut off es lograr algún objetivo económico o financiero, como asegurar la rentabilidad, generar valor para la empresa, maximizar el valor presente neto, etc, es decir, la sostenibilidad corporativa. Un factor importante es la ubicación del proyecto minero, puede haber una lista de metas sociales como mejorar la calidad la vida de los ciudadanos de las zonas de influencia indirecta e indirecta o empleo en la región e impuestos pagados al gobierno. Asimismo, para cualquier proyecto son requisitos imprescindibles es minimizar el impacto ambiental y monitorear las emisiones de gases y los efluentes dentro de los límites máximos permisibles (LMP) se está volviendo cada vez más trascendental y el patrón mundial al hacer negocios en el sector minero.

Los grupos económicos e inversionistas del sector minero tienen el objetivo de buscar el mejor interés de los accionistas, esto significará aumentar la rentabilidad de sus inversiones. Sin embargo, lograr también objetivos sociales puede ser importante para obtener la llamada "licencia social", que es un precursor esencial para poder operar y, por lo tanto, trabajar en el mejor interés de los accionistas. En suma, un desarrollo sostenible es una meta global para cualquier inversionista dado que la rentabilidad de la inversión, el desarrollo de las comunidades aledañas e ingresos por impuestos para el Estado; como dice Miguel Castañeda (asesor en Gestión Social, GERENS): “La sostenibilidad corporativa es un enfoque que involucra conceptos de mucho mayor alcance que la tradicional gestión empresarial. Va mucho más allá de un plan de responsabilidad social empresarial o la excelencia operacional, por ejemplo; ya que se concibe y se desarrolla incorporando tres ideas altamente vinculadas:

- La viabilidad económica y financiera, la estructura corporativa, así como la generación de rentabilidad y crecimiento del negocio.
- La propia Responsabilidad Social con sus diversos stakeholders, incluyendo a la comunidad y a sus trabajadores, fundamentalmente.
- La responsabilidad medioambiental con el cuidado de la biodiversidad y el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales.

En síntesis, es posible desarrollar proyectos extractivos sostenibles si enfocamos bien la priorización de necesidades de nuestros contextos sociopolíticos y socioeconómicos.”.

### **9.2. MÉTODO DE DETERMINACIÓN DEL CUT-OFF**

Como ya es evidente, hay varias formas en que se puede derivar el valor utilizado como ley de corte. Los cálculos de equilibrio son comunes y se analizan en detalle más adelante. Nosotros como ya se mencionó anteriormente haremos una comparación del VPN resultante respecto al modelo tradicional del Break- Even Cut Off (BECOFF) y una mezcla entre en modelo Heurístico y modelo Lane. La metodología de Lane se usa en algunas operaciones a cielo abierto, y también se ha aplicado en un pequeño número de minas

subterráneas. La metodología de Lane se puede aplicar utilizando un moderno software de hoja de cálculo. También está integrado en algunos paquetes de software de optimización de estrategias disponibles comercialmente como es el caso de módulo del Minesight, estamos hablando del Economic Planner con su herramienta de planificación *MSVALP* muy útil para determinar la viabilidad económica y tener una estrategia de ley de corte adecuada de acuerdo al objetivo que en nuestro caso es maximizar el valor presente neto, para tener finalmente:

- Un Constant Cut-Off Case presenta una serie de planificaciones con ley de corte constante que procesa la mena por encima del valor de concentración establecido y manda a acopio el mineral con una ley menor a la de corte. Se satisfacen los requerimientos de la planta de tratamiento para cada año. Los tajeos de la ley de corte se extraen de a uno por vez en orden progresivo siguiendo la tasa de minado requerida para responder cada año a los requerimientos de planta; caso elegido para representar el Modelo Break-Even.
- Una planificación optimizada, denominada Best Case Schedule, que aplica técnicas de optimización de las leyes de corte y de análisis del VPN. Esta evaluación encontrará la ley de corte que se debe emplear cada año para maximizar el valor presente neto de la planificación teniendo como parámetro guía el método de Lane y el modelo Heurístico. Este análisis se basa en extraer primero con mayor ley con el fin de aumentar el VPN; caso elegido para representar al modelo Lane y Heurístico.

La optimización general de la estrategia minera es quizás el otro proceso importante por el cual se especifican los límites, y esto se discute con más detalle más adelante. Como se señaló anteriormente, la política de corte debería ser un resultado del proceso de planificación, en lugar de derivarse un límite (tal vez como un simple punto de equilibrio) como una entrada fija en el proceso de planificación.

### **9.3. ELECCIÓN DE UNA LEY DE CORTE ÓPTIMA PARA LA EVALUACIÓN UN PROYECTO MINERO**

“Cuando se tiene un problema de optimización en el que se desconocen los valores exactos de algunos de los parámetros es necesario enfrentarlo desde otras ópticas diferentes a la optimización determinística” (Nieto y Bascetin, 2009)

Se parte del hecho de que elegir, más que calcular, la ley de corte, es una decisión bajo incertidumbre. Esto debido a que cuenta con diferentes variables que son continuas en el tiempo que hacen del cálculo algo incierto, ejemplo el precio y el costo. Ahora bien, tocando el tema del encabezado, se considera que la mejor ley de corte es aquella que maximice los flujos de caja a futuro en la extracción del mineral de tal forma que se logre extraer la mayor cantidad de mineral posible mientras la explotación siga generando valores positivos, cuando se llegue al punto de equilibrio donde a partir de allí si se continúa trabajando los flujos de cajas generados son negativos, entonces en ese momento es donde se encuentra ley de corte. (Lane,1984, Mohammad 1997, 2003, Asad 2007).

- ✓ En este trabajo de investigación el caso de estudio se desarrolla para un yacimiento con dos minerales, entonces el concepto de la ley de corte se hará uso de la ley equivalente del mineral con mayor aporte económico y por lo cual para ambos minerales se trabaja con una cantidad de material de mina, planta y mercado que logre extraer la mayor cantidad de ambos y así se maximice el Valor Presente Neto, dado que tiene ventajas puesto que es un indicador que toma en cuenta el valor del dinero en el tiempo, es decir, considera el costo de oportunidad del capital del inversionista, asimismo calcularemos la Tasa Interna de Retorno, que es un buen complemento del VPN para la toma de decisiones. Esta maximización se da en un punto tal que al trabajar con los límites de operación generados bajo las tres restricciones que gobiernan el proceso, el depósito siga generando la mayor utilidad, tanto así que al llegar al punto de equilibrio no se generen pérdidas.

#### **9.4. EVALUACIÓN DE PROYECTOS MINEROS DE INVERSIÓN**

Tiene como objetivo determinar la rentabilidad del proyecto, independientemente de las fuentes de financiamiento.

- ✓ En tal sentido, determina la rentabilidad (ganancia) para todos los que financiaron el proyecto
- ✓ Su importancia radica en que, si el proyecto económicamente no es atractivo, no tiene sentido determinar la rentabilidad financiera.
- ✓ Tiene como objetivo determinar la rentabilidad del dinero puesto por el inversionista.

#### **9.5. LA IMPORTANCIA DE LA LEY DE CORTE (CUT-OFF GRADE)**

Para un determinado depósito mineral en un entorno social y económico dado, y con la infraestructura existente, los parámetros principales que una compañía minera puede tomar decisiones independientes son típicamente el método o métodos de minería, la secuencia de excavación, la tasa de producción y la ley de corte (cut-off grade). Dado que el tamaño y la forma del yacimiento y, por lo tanto, los posibles métodos de extracción y la gama de los ritmos de producción viables pueden variar significativamente con la ley de corte, es a menudo el cut-off grade el que determina el valor de la operación. Una vez que se han tomado decisiones sobre la ley de corte (y el método de explotación y la tasa de producción), la mayoría de los otros factores se determinan en gran medida. Se conocerán factores físicos como el diseño de las minas y el diseño de las plantas de tratamiento y las capacidades de las diversas etapas del proceso de producción desde la mina hasta el mercado. Como resultado de ello, se encuentran factores financieros tales como los requisitos iniciales o de expansión del gasto de capital, los requisitos de personal y todos los diversos componentes de la estructura de costos operativos. La optimización de minas debe llevarse a cabo tan pronto como sea posible para minimizar el riesgo de bloqueo en un plan subóptimo y perder la oportunidad de crear valor.

Es una herramienta para tener más claro los beneficios del proyecto del sector minero frente de los riesgos evidentes asociados a la intensidad de capital y la de los plazos de maduración de los proyectos, los negocios mineros incluyen otros motivos de riesgo económico,

algunos controlables por el inversor y otros no. En general, estos riesgos se pueden subdividir en: riesgos geológicos, riesgos operativos, riesgos económicos y riesgos políticos. (Arteaga,1991).

## **9.6. EL EQUILIBRIO ENTRE RIESGO Y BENEFICIO**

¿Qué estrategia de corte debe tomar la operación minera? La tentación es elegir el cut-off grade que maximice el valor al precio más alto, ya que esto maximiza claramente del rendimiento de la rentabilidad, utilidades y crea valor para la empresa. No obstante, con un análisis económico se muestra que si se selecciona un cut-off grade más alto para maximizar el valor al precio más bajo y el precio más alto ocurre entonces, se obtiene la mayor parte del potencial incremento de valor de todos modos. La ganancia real obtenida seleccionando el cut-off grade inferior (para maximizar el valor con el precio más alto) es de hecho muy pequeña. Pero si se selecciona el cut-off grade inferior que maximiza el valor al precio más alto y el precio más bajo ocurre, la pérdida puede ser sustancial. Normalmente, cuanto menor sea el cut-off grade seleccionado, mayor será el riesgo. Por ello es necesario reducir la incertidumbre, si la decisión óptima cambia dentro del rango probable del cut-off grade, se necesita obtener más información para que se use el valor correcto y se tome la mejor decisión.

La magnitud de los riesgos y beneficios derivados de la selección de políticas de la ley de corte tiene un impacto directo y importante sobre el valor y la fortaleza financiera de la empresa y debe ser un tema de consideración y toma de decisiones por parte del directorio junto con gerencia.

## **9.7. IMPLEMENTACIÓN EFICIENTE DEL PLAN DE MINADO ÓPTIMO**

Un proceso integral y multidisciplinario de planificación de la mina es esencial para el desarrollo y la implementación eficiente del plan de mina óptimo que cumpla con los objetivos corporativos de la operación minera, estos pueden ser, maximizar el valor presente neto, reducir el payback, ingresos anticipados, vida de mina más larga, etc. El proceso debe abarcar la planificación estratégica, empresarial y operacional de minas e integrar plenamente a todas las partes interesadas -incluidas en la gestión, la geología, los servicios técnicos de las minas, el procesamiento, el mantenimiento y la producción- de modo que las operaciones estén alineadas con el plan de mina óptimo.

Para lograr el resultado deseado, la planificación de la mina se puede considerar en tres niveles secuenciales, pero integrados:

- Planificación estratégica: Un plan global con una visión de un futuro deseado para maximizar el valor de la explotación de la mineralización conocida y anticipada. Esto debe identificar el plan de mina óptimo.
- Planificación de negocios o táctica: Este comprende dos componentes: planificación a largo y mediano plazo, ambos vinculados al plan estratégico, pero más detallados. Normalmente, la planificación de negocios incorpora el presupuesto anual a través del plan de negocios de cinco años.
- Planificación operativa: planes detallados -incluyendo el pronóstico de tres meses

móvil y planes de equipamiento mensuales, semanales y diarios- que guían la operación para alcanzar los objetivos de negocio detallados en el presupuesto.

CARACTERÍSTICAS	PLANES ESTRATÉGICOS	PLANES TÁCTICOS	PLANES OPERATIVOS
<b>Horizonte Temporal</b>	En general abarcan un periodo de entre 3 y 5 años	A menudo abarcan un periodo de entre 1 y 2 años	Suelen abarcar un periodo de 12 meses o menos
<b>Alcance</b>	Son los más extensos; y se originan y se refieren a toda la organización	Rara vez abarcan más allá de una sola unidad estratégica de negocios	Son más limitados; suelen referirse a los departamentos o a las unidades más pequeñas de una organización
<b>Complejidad</b>	Son los más complejos y generales, por las diversas industrias y negocios que potencialmente se cubren	Un tanto complejos pero más específicos, ya que su dominio de aplicación es más limitado	Son los menos complicados puesto que usualmente se refieren a unidades pequeñas y homogéneas
<b>Efecto</b>	Sus efectos (positivos o negativos) tendrán consecuencias drásticas en las vicisitudes y la supervivencia misma de la organización	Pueden afectar negocios específicos aunque en general no las vicisitudes, ni la posibilidad de supervivencia de toda la organización	Su efecto por lo regular se limita en específico a un departamento o a una unidad de la organización

Figura 6. Niveles de Planificación. Fuente Michael A. Hitt (2015) Administración estratégica

Para asegurar que el plan de la mina sea práctico y razonable, un buen proceso de planificación de la mina estará alineado a largo plazo con una visión bien definida e incorpora un amplio conocimiento técnico y una extensa interacción con las diversas disciplinas o áreas técnicas y las partes interesadas. Los requerimientos e interacciones detallados variarán dependiendo del nivel de detalle del plan de la mina en preparación, pero en términos generales implicará gestión, geología, geotecnia, metalurgia, comercialización, mantenimiento (planta fija y móvil), infraestructura, producción, servicios técnicos de minas, seguridad, sociales y ambientales. El objetivo principal de un buen proceso de planificación de la mina es dirigir la ejecución del plan de mina óptimo, tan eficientemente como sea posible.

Un buen proceso de planificación de la mina hace uso positivo de algún programa computacional especializado en planificación de mina que se desarrolla el procesamiento de datos rápidamente, lo que permite que las formas explotables se desarrollen

rápidamente, las programaciones se actualicen rápidamente y numerosas opciones y escenarios para ser evaluados con relativa rapidez. La mayor integración entre el diseño de la mina y el software de programación también permite fácilmente la inspección visual e interrogación del plan de minado. Sin embargo, las limitaciones de tales herramientas de software también deben ser entendidas.

Por ejemplo, todas las herramientas de planificación minera tienen pros y contras, algunas más adecuadas para aplicaciones estratégicas y otras más adecuadas para el desarrollo de planes operacionales detallados. Los mejores resultados se obtienen seleccionando la herramienta más apropiada para los requisitos específicos del plan de minado que se está preparando, en lugar de usar un enfoque de un solo tamaño.

La introducción de un riguroso proceso de planificación minera que esté alineado con las operaciones de la mina a menudo conducirá a una menor variabilidad y también a la volatilidad. Así, mientras que las mejoras de productividad y eficiencia pueden ser la mejor manera de reducir los costos en el corto plazo, tales medidas no deben comprometer el cumplimiento del plan de mina.

El cumplimiento del plan minero es fundamental para el cumplimiento de los objetivos corporativos y la creación de valor. La reconciliación entre el rendimiento planificado y ejecutado debe controlarse y medirse con una frecuencia programada. El incumplimiento debe ser revisado críticamente por todas las partes interesadas y deben tomarse las medidas apropiadas para minimizar las desviaciones futuras y, cuando sea necesario, volver a ajustar el plan de minado si un mayor conocimiento da lugar a cambios significativos en los parámetros de entrada.

El control y monitoreo del cumplimiento del plan de minado debe considerar los aspectos cuantitativos y cualitativos, así como la calidad del producto y la cantidad producida. Es importante identificar dónde se ha extraído el material para facilitar una reconciliación completa y asegurar que el progreso del desarrollo de la mina, que permite el acceso a futuras fuentes de mineral y tener un control de las reservas, así como planificar un programa de exploración tanto Greenfields (en un radio superior a 20 km de la unidad minera) y Brownfields (exploración en un radio entre 10 a 20 km de la unidad minera) para ampliar la vida de la mina; todo sea para alcanzar objetivos estratégicos a más largo plazo basado en una administración estratégica.

## **9.8. OPTIMIZACIÓN DE LEY DE CORTE (CUT-OFF GRADE)**

La optimización consiste en encontrar una solución iterativa mediante simulación y la utilización de algoritmos. En esta se ensayan diferentes valores de decisión y para cada uno de ellos se hace la simulación y luego se elige el mejor según criterios de incertidumbre. La herramienta que se utiliza para el desarrollo de la optimización se usará un módulo del Minesight, estamos hablando del Economic Planner con su herramienta de planificación MSVALP, este utiliza un conjunto propietario de algoritmos genéticos para buscar soluciones óptimas a un problema, así como también las distribuciones de probabilidad y la simulación para administrar la incertidumbre presente en su modelo. Para el caso de maximizar o minimizar una función se empieza creando algunas soluciones posibles o

escenarios aleatorios, en vez de solamente un punto de partida, teniendo en cuenta los valores y rangos establecidos. Luego se calcula la salida de la función para cada escenario. Cada uno de estos escenarios remanentes se duplica a sí mismo, haciendo que el número de estos sea mayor. Cada uno de los escenarios está hecho de dos valores ajustables.

### **9.9. ESQUEMA DE OPTIMIZACIÓN DE LEY DE CORTE (CUT-OFF GRADE)**

Se parte de la política original planteada por Lane para el cálculo de la ley de corte donde dicha ley estaría condicionada por las características del depósito en el que se encuentre, así entonces existe un primer análisis de la política de ley, en cual se determinaría en si cual será la fórmula a utilizar dependiendo las condiciones en las que se encuentra el yacimiento y todos los factores internos y externos que a este relaciona. Se debe recordar que el Economic Planner con su herramienta de planificación MSVALP cuenta con un Algoritmo de Optimización

Avanzada imita las decisiones de diseño que un ingeniero de minas haría para producir rápidamente formas de rebaje óptimas. Comparar múltiples alternativas: debido a su velocidad y facilidad de uso, Economic Planner con su herramienta de planificación MSVALP permite al usuario producir rápidamente y compare múltiples rebajes alternativos diseños y arreglos. Asimismo, el Economic Planner con su herramienta de planificación MSVALP tiene el velocidad y flexibilidad para permitirte rápidamente producir los resultados que buscas de curvas de tonelaje vs ley realista y auditable para el cálculo de reservas y de la ley de corte adecuada según los inputs.

### **9.10. RELACIÓN ENTRE LA PLANIFICACIÓN DE MINA Y EL ALTO RENDIMIENTO**

Hay una conexión evidente entre el alto rendimiento de la operación y la planificación de la mina. Las operaciones mineras son únicas debido a que su vida útil finita porque sus recursos son agotables y la incertidumbre asociada a los factores geológicos y técnicos tales como la inestabilidad natural en la geometría y continuidad geológica del cuerpo de mineral, las condiciones del suelo y las propiedades de las rocas, y la presencia de diferentes tipos de mineral y sus implicaciones metalúrgicas asociadas. Factores económicos como los precios variables de los minerales y los tipos de cambio también tienen importantes implicaciones en el desempeño de los proyectos mineros. Estas incertidumbres significan que la gestión eficaz del riesgo requiere una evaluación económica y técnica más rigurosa que en muchas otras industrias.

A menudo se requiere un tiempo significativo entre la identificación de un recurso mineral y su conversión a una reserva de mineral y la eventual extracción como un producto vendible. Luego que se han tomado las decisiones importantes de planificación de minado, en otras palabras, con respecto al método de minado, ratio de producción y la ley de corte (cut-off grade), a menudo es difícil cambiar la planificación. Por lo tanto, es importante que la planificación de minado sea sólido en el largo plazo. Asimismo, ninguna cantidad de mejora de la productividad o reducción de costos maximizará el valor si el plan de minado que se está implementando es subóptimo.

Desde la perspectiva del área de operaciones, el motivo principal del bajo rendimiento en las áreas de trabajo es casi siempre culpa de una consideración inadecuada de los factores técnicos y operativos durante el desarrollo del plan de minado o a un bajo nivel de reconciliación del plan de minado. Por ejemplo, es muy habitual tener una escasez de tajeos o frentes de avance en las operaciones por el poco movimiento de desmonte o el desarrollo de labores en interior mina. Medidas para reducir los costos, tales como reducir los anchos de minado y retrasar la preparación y el desarrollo de la mina, genera que el equipo de trabajo no pueda trabajar de manera eficiente debido al gran número de actividades interrelacionadas del secuenciamiento de minado . También, la estrategia para incrementar la productividad o reducir los costos, en los casos en que la reconciliación del plan de minado es deficiente, generan que se dé prioridad a mineral de baja ley que tenga fácil disponibilidad en reemplazo de mineral de alta ley que añada valor al producto.

PERSPECTIVA	CRITERIO
FINANCIERA	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Flujo de efectivo</li> <li>- Rendimiento sobre el capital</li> <li>- Rendimiento sobre los activos</li> <li>- Creación de valor (EVA &gt;0)</li> <li>- Alto ratio de liquidez y solvencia</li> </ul>
CLIENTE	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Evaluación de la capacidad para anticipar las necesidades de los clientes</li> <li>- Efectividad de las prácticas para el servicio al cliente</li> <li>- Porcentaje de los negocios que se repiten</li> <li>- Calidad de la comunicación con el cliente</li> </ul>
PROCESOS INTERNOS DEL NEGOCIO	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mejoras en la utilización de los activos</li> <li>- Mejoras en el ánimo o moral de los empleados</li> <li>- Cambios en las tasas de rotación de personal</li> </ul>
APRENDIZAJE Y CRECIMIENTO	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mejoras en la capacidad para innovar</li> <li>- Ventaja competitiva en comparación de los competidores</li> <li>- Incremento de las habilidades de los empleados</li> </ul>

*Figura 7. Controles estratégicos y financieros. Fuente Michael A. Hitt (2015)*  
Administración estratégica

Un buen planeamiento de mina genera un gran rendimiento al maximizar la capacidad de trabajo productivo donde todos estén comprometidos con las metas de la empresa y hagan propio el compromiso de trabajar con productividad según lo planificado. Esto se logra por medio de una mezcla de disciplina en el cumplimiento del plan de minado, proporcionando

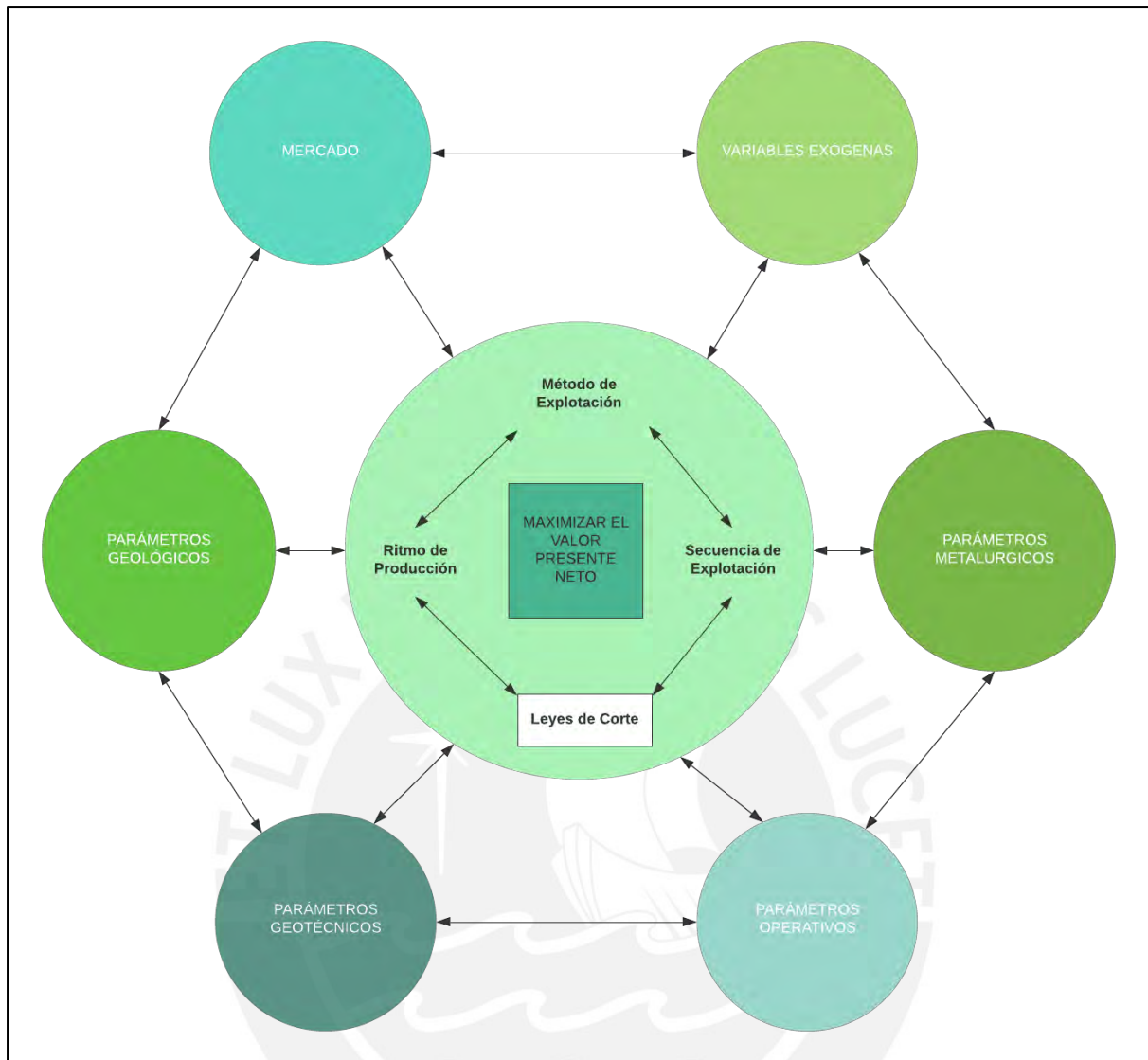
un soporte adecuado en forma de capacidad de producción, conocimientos técnicos en las actividades directas y conexas de la operación minera y suficiencia de reservas y recursos para manejar eficientemente la incertidumbre y la inestabilidad normal y lograr una alta productividad.

Una excelencia en el rendimiento de resultados se consigue principalmente teniendo una optimización en el plan de minado, un hecho que es práctico como posible, algo que se está poniendo en marcha de la manera más eficiente y eficaz posible. Por último, el fin principal de la operación minera debe ser entregar los productos (como tonelaje de mineral y con leyes acorde a lo planeado, relaveras y relleno) de acuerdo con el plan de minado y dentro del costo y otras restricciones establecidas en el plan del negocio minero. Asimismo, la capacidad de la mina y de planta deben cumplir con sus capacidades desempeño para que la producción de mineral no se vea afectada.

### **9.11. DESARROLLO DEL PLAN DE MINADO ÓPTIMO**

Para conseguir el plan de minado óptimo, en primer lugar, se necesita definir los parámetros del beneficio esperado que representan los objetivos corporativos. El Valor Presente Neto (VPN) es el parámetro más común considerado al realizar la evaluación de la viabilidad de proyectos y luego determinar la estrategia para el aspecto social y ambiental. No obstante, la mayor parte de las empresas tienen objetivos corporativos diversos respecto al tema económico, ambiental y social, que pueden divergir con la comunidad o el Estado.

Se tiene que el un alto porcentaje de los estudios de factibilidad y la planificación para la vida de la mina o de expansión de producción o procesamiento; como muestra la Figura 8 se deben tomar en cuenta el mercado, parámetros geológicos, parámetros geotécnicos, parámetros operativos, parámetros metalúrgicos y variables exógenas para ver la su viabilidad y elaborar un plan de acción. Como dijo Brian Hall (2014) “es común oír que un proyecto que se está desarrollando después de un estudio de factibilidad favorable está siendo "optimizado", esto típicamente toma la forma de encontrar formas mejores o más baratas de implementar la estrategia identificada por el estudio. Podría decirse que “valor” es el valor actual neto (VPN, indicador financiero) es el mejor sustituto de un solo número para cuantificar una serie de flujos de efectivo. Rara vez busca encontrar una estrategia diferente y mejor, o que crea el “valor” a más largo plazo sobre la gama de posibles escenarios económicos y técnicos. La mayoría de los planes de minas se basan, por lo tanto, en una estrategia que ha demostrado generar un VPN positivo aceptable, pero no en una estrategia que ha demostrado maximizar el VPN o cualquier otra medida de "valor". La minimización del riesgo puede considerarse cualitativamente, pero rara vez se cuantifica y se incluye en la determinación formal de la "mejor" opción. Esto es lamentable dada la incertidumbre que rodea a los proyectos mineros, particularmente si la evaluación se lleva a cabo en el pico del ciclo del precio del mineral. Esto puede ayudar a explicar la rápida expansión a cualquier costo que invariablemente ocurre durante tales períodos de pico.”



*Figura 8. Modelo Conceptual de Planificación Minera. Elaboración propia.*

La creación de valor mediante el desarrollo y la implementación eficiente de un plan de minas óptimo es una gran oportunidad dentro de la industria minera hoy en día. Los conceptos presentados anteriormente no son nuevos o particularmente innovadores. Sin embargo, un enfoque holístico, riguroso, disciplinado e integrado a la planificación de la mina, como se describe, puede transformar las operaciones mineras y crear valor. Esto es cierto para los proyectos existentes, así como para los nuevos proyectos (Rendu 2008).

Una manera de maximizar el valor presente neto de un yacimiento minero es determinar una óptima estrategia de ley de corte, esta técnica es ya desarrollada pero poco aplicada en la industria minera. Se ha observado que a diferencia de aplicar una constante ley de corte de equilibrio (Break-Even Cut-Off grade), por una óptima y dinámica ley de corte, que cambia debido al efecto decreciente del VPN durante la vida de la mina, y no solo por respetar el precio del metal y los costos de las etapas de mina, molienda y refinación, sino también por tomar en cuenta las restricciones de capacidad de estas etapas y la distribución del tonelaje-ley del depósito (Dagdelen 1992, Lane 1988, Dagdelen & Mohammad 1997). En otras palabras, la técnica que determina la estrategia de ley de corte, considera el costo

de oportunidad de no recibir antes el flujo de caja futuro durante la vida de la mina, debido a las limitaciones de capacidad de cualquiera de las etapas de minería, molienda o refinación (Lane 1964 & Mohammad 1997). Para el cálculo de la utilidad que es la entrada más importante en el flujo de caja se debe tener todo el proceso de ciclo de minado. En la Fig.9 se muestra los factores principales de la utilidad en la valorización:

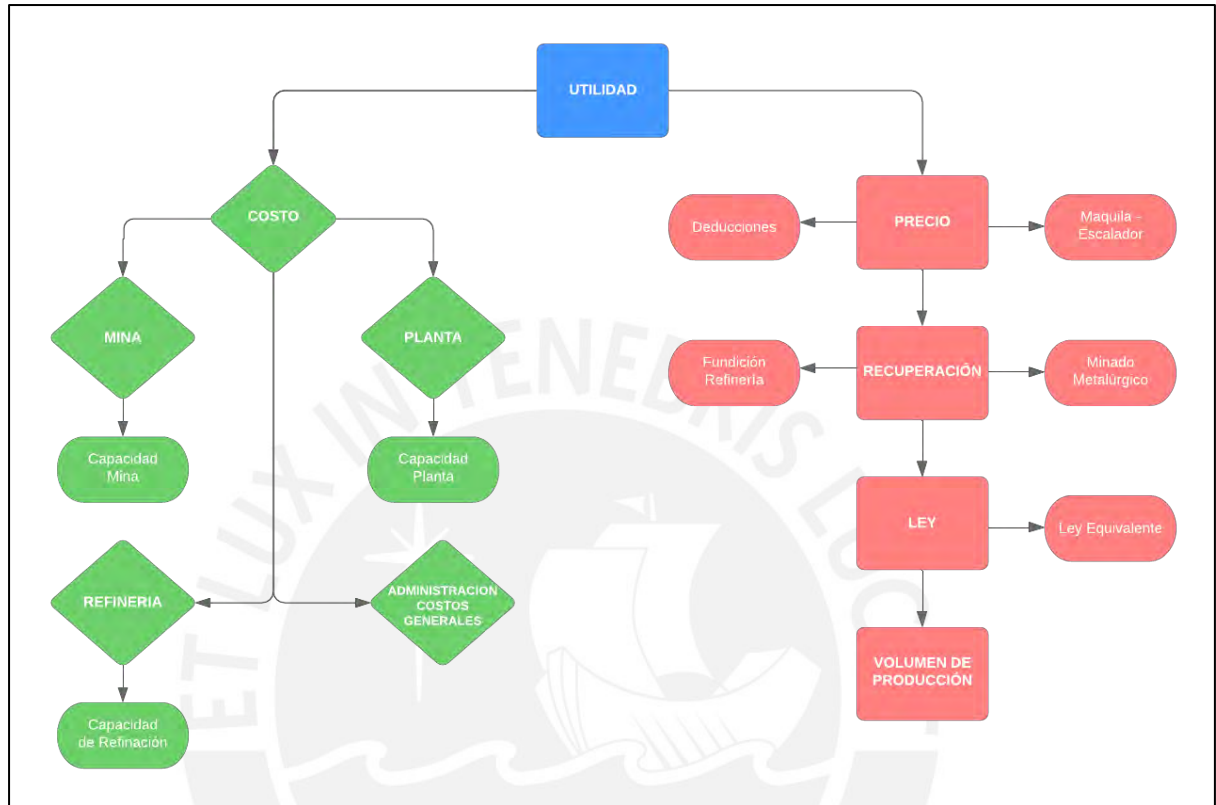


Figura 9. Factores principales de la utilidad en la valorización. Elaboración propia.

El diseño de una buena planificación minera , estándares y procedimientos es un componente esencial de una mina con sostenibilidad corporativa, y es un campo que los expertos dicen que el sector minera, en general, no está desarrollando aun su máximo potencial. En algunos casos, hay desconocimiento en el entendimiento de los elementos tanto exógenos y endógenos promotores responsables del desarrollo de un plan de minado óptimo que realmente maximiza el valor presente neto. En otros casos, podría producirse un plan de minado sólido en su lugar, pero no se realiza de manera eficiente para maximizar la rentabilidad de los inversionistas. Organizar las operaciones mineras con una planificación de minado optimizado ofrece una oportunidad valiosa para generar valor a la empresa y obtener una ventaja competitiva sostenible dentro de del sector minero, pero debe estar sometido a descubrir como empresa la dirección estratégica, liderazgo estratégico efectivo, establecer controles organizacionales equilibrados, sostener un cultural organizacional efectiva y énfasis en las practicas éticas.

## **10. SISTEMA DE VARIABLES**

Dentro del presente trabajo se van a plantear variables para la optimización y por ello, se utilizará netamente variables de tipo cuantitativas continuas para lograr los objetivos, plantear correctamente el problema y tener resultados como conclusiones sólidas.

### **10.1. PARÁMETROS FÍSICOS**

Dado que el cut-off grade trata con tres tipos de material (roca, mineral y producto), requerimos variables para las etapas asociadas en el proceso de producción general. Lane denota estas y otras cantidades físicas de la siguiente manera:

- $M$  = Tasa de extracción máxima (expresada como unidades de roca por período de tiempo).
- $H$  = Tasa de tratamiento máxima (expresada como unidades de mineral por período de tiempo).
- $K$  = Tasa de comercialización máxima (expresada como unidades de producto por período de tiempo).
- $y$  = Recuperación o rendimiento metalúrgico (es decir, producto recuperado / producto contenido en mineral).
- $g$  = Cada una de las leyes de corte potenciales identificados inicialmente por el proceso.
- $G$  = Los tres puntos de corte intermedios y un grado de corte final obtenido durante el proceso de reducción de los seis, primero a tres y finalmente al punto de corte que se utilizará.

### **10.2. PARÁMETROS DE COSTOS E INGRESOS**

También requeriremos variables para representar los costos asociados con cada etapa del proceso de producción: minería, tratamiento y comercialización. Lane denota estas y otras cantidades financieras de la siguiente manera:

- $m$  = Costo variable minero (por unidad de roca)
- $h$  = Costo variable de tratamiento (por unidad de mineral)
- $k$  = Costo variable de comercialización (por unidad de producto)
- $f$  = Costos fijos (por período de tiempo)
- $p$  = Precio de venta del producto (por unidad de producto)
- $F$  = Costo de oportunidad (por período de tiempo).

## 11. OPERALIZACIÓN DE VARIABLES

Plantear correctamente las variables refuerza a lograr un alto grado de eficacia y confiabilidad en las conclusiones finales ante este problema planteado.

En esta parte K. Lane trabaja con un modelo económico es proporcionar un medio para calcular los efectos de los cambios en ciertas variables en la formulación matemática.

### 11.1. LÍMITE ECONÓMICO DE LEY DE CORTE (LIMITING ECONOMIC CUT-OFF GRADES):

#### 11.1.1. LÍMITE DE MINA ( $g_m$ ) :

Con la tasa de desarrollo (U / G) que limita el rendimiento, la capacidad correspondiente es de M unidades por año, por lo que el tiempo para manejar una unidad es de 1 / M. Por lo tanto, la expresión se convierte:

$$Max_g = \{v_m = (p - k)xy\bar{g} - xh - m - (f + F)/M\}$$

Solo el termino  $(p - k)xy\bar{g} - xh$  varia de  $g$  a  $g_m$  , el cut off optimo con el límite de mina, está dado por:

$$Max_g \{x[(p - k)y\bar{g} - h]\}$$

Luego,  $\bar{g}$  y  $x$  pueden representarse mediante integrales de la función de distribución de leyes y el máximo determinado por cálculo. Sin embargo, esto es posible ver, debido a la forma de la expresión  $x\{(p - k)y\bar{g} - h\}$  , que  $g$  se puede bajar mientras  $(p - k)y\bar{g}$  sea mayor que  $h$ .

Por lo tanto, el punto de equilibrio viene dado por:

$$g_m = h/(p - k)y$$

#### 11.1.2. LÍMITE DE PLANTA ( $g_h$ ) :

Este es el caso común con las instalaciones de manejo de minerales o la planta concentradora que restringe el rendimiento. En este caso, una unidad de material mineralizado da lugar a x unidades de mineral y estas tardan x / H en tratarse.

Por lo tanto  $\tau = x/H$  la expresión se convierte:

$$Max_g = \{v_h = (p - k)xy\bar{g} - xh - m - (f + F)x/M\}$$

Siguiendo el mismo razonamiento que antes, esto es equivalente para:

$$Max_g \{x[(p - k)y\bar{g} - h - (f + F)/M]\}$$

Y  $g_h$  este dado por:

$$g_h = \left\{ h + \frac{f + F}{H} \right\} / (p - k)y$$

### 11.1.3. LÍMITE DE MERCADO ( $g_k$ ) :

Esta restricción del mercado impuesta, por ejemplo, por un contrato de venta exclusivo o puede ser la capacidad limitante de una refinería o fundición. Una unidad de material mineralizado da lugar a unidades de mineral  $xy\bar{g}$  que requieren unidades de tiempo  $xy\bar{g}/K$  para procesar o vender.

Por lo tanto, la expresión optimizadora se convierte en:

$$Max_g = \{v_k = (p - k)xy\bar{g} - xh - m - (f + F)xy\bar{g}/M\}$$

Siguiendo el mismo razonamiento que antes, esto es equivalente para:

$$Max_g \left\{ x \left[ \left( p - k - \frac{(f + F)}{K} \right) y\bar{g} - h \right] \right\}$$

Y  $g_k$  este dado por:

$$g_k = h / \{ p - k - (f + F)/K \} y$$

### **EJEMPLO DE LIMITE DE CUT-OFFS:**

Las siguientes entradas se utilizan para derivar límites limitados de minería, tratamiento y comercialización ( $g_m$ ,  $g_h$  y  $g_k$  respectivamente) y los límites limitantes se derivan por simple sustitución de estos valores en las fórmulas.

#### Parámetros físicos

- ✓ Máxima tasa de extracción mina  $M = 5.0$  Mt / anual de roca
- ✓ Máxima tasa de tratamiento  $H = 2.0$  Mt / anual de mineral
- ✓ Máxima tasa de comercialización  $K = 150\,000$  t / anual de producto
- ✓ Recuperación metalúrgica  $y = 90\%$

#### Parámetros de costo y precio

- ✓ Costo variable minero  $m = \$ 5.00$  / t de roca
- ✓ Costo variable del tratamiento  $h = \$ 7.50$  / t de mineral
- ✓ Costo variable de comercialización  $k = \$ 40.00$  / t de producto
- ✓ Costo fijo  $f = \$ 16.0$  M / anual
- ✓ Precio del producto  $p = \$ 800$  / t de producto

#### Costos de oportunidad y derivación

- ✓ Tasa de descuento  $r = 10$  por ciento / anual

- ✓ Valor actual neto  $V = \$ 120 M$
- ✓  $dV / dt = 0$  (es decir, se pronostica que las condiciones económicas no cambiarán en el futuro)
- ✓ Costo de oportunidad  $F = rV - dV / dt = \$ 12 M / \text{anual}$

Cut-Off de Mina ( $g_m$ ) :

$$g_m = h / (p - k)y$$

$$g_m = \frac{7.5}{(800 - 40)x0.9} = 0.011$$

$$g_m = 1.10\%$$

Cut-Off de Planta ( $g_h$ ) :

$$g_h = \left\{ h + \frac{f + F}{H} \right\} / (p - k)y$$

$$g_h = \frac{\left\{ 7.5 + \frac{16M + 12M}{2M} \right\}}{(800 - 40)x0.9} = 0.0314$$

$$g_h = 3.14\%$$

Cut-Off de Mercado ( $g_k$ ) :

$$g_k = h / \{ p - k - (f + F) / K \} y$$

$$g_k = \frac{7.5}{\left\{ 800 - 40 - \frac{16M + 12M}{0.150M} \right\} x 0.9} = 0.0145$$

$$g_k = 1.45\%$$

## 11.2. EQUILIBRIO DE LEYES DE CORTE (BALANCING CUT- OFF GRADES):

Con tres etapas de proceso, hay tres pares de capacidades que pueden equilibrarse:

1. Mina y planta (roca y mineral), para lo cual el límite de equilibrio es  $g_{mh}$
2. Planta y mercado (mineral y producto), para el corte de equilibrio es  $g_{hk}$
3. Mina y mercado (roca y producto), con un corte de equilibrio de  $g_{mk}$ .

Para encontrar los límites de equilibrio, se inspeccionan las tablas o curvas de tonelaje y grado versus grado de corte. En un rango de límites, las tablas o curvas requeridas mostrarán:

- Toneladas de mineral por encima de cada límite
- Ley promedio del material por encima de cada cut-off
- Ley promedio recuperable del material por encima de cada cut-off.

- Relación de tonelaje de material por encima de cada cut-off con respecto a la total de roca.
- Producto recuperable en el material sobre cada cut-off.
- Relación de producto recuperable respecto a la roca total

El equilibrio de las leyes de corte para cada par de etapas se obtiene al encontrar el corte donde las proporciones de cada par de componentes de material - roca, mineral y producto - están en las mismas proporciones que las capacidades de proceso para cada par de componentes - mina (M), planta (H) y mercado (K).

Las capacidades de minería y tratamiento limitan la generación de valor a las dos curvas, considerando cada etapa por sí sola. Los valores en las curvas son los valores máximos de su respectivo cut-off, generados por las etapas del proceso que operan a sus capacidades.

Las etapas del proceso pueden operar por debajo de sus capacidades, en cuyo caso no se alcanzará el potencial de valor total, indicado por los dos puntos en la Figura 10 que ilustran una etapa que opera a capacidad y la otra a menos de la capacidad.

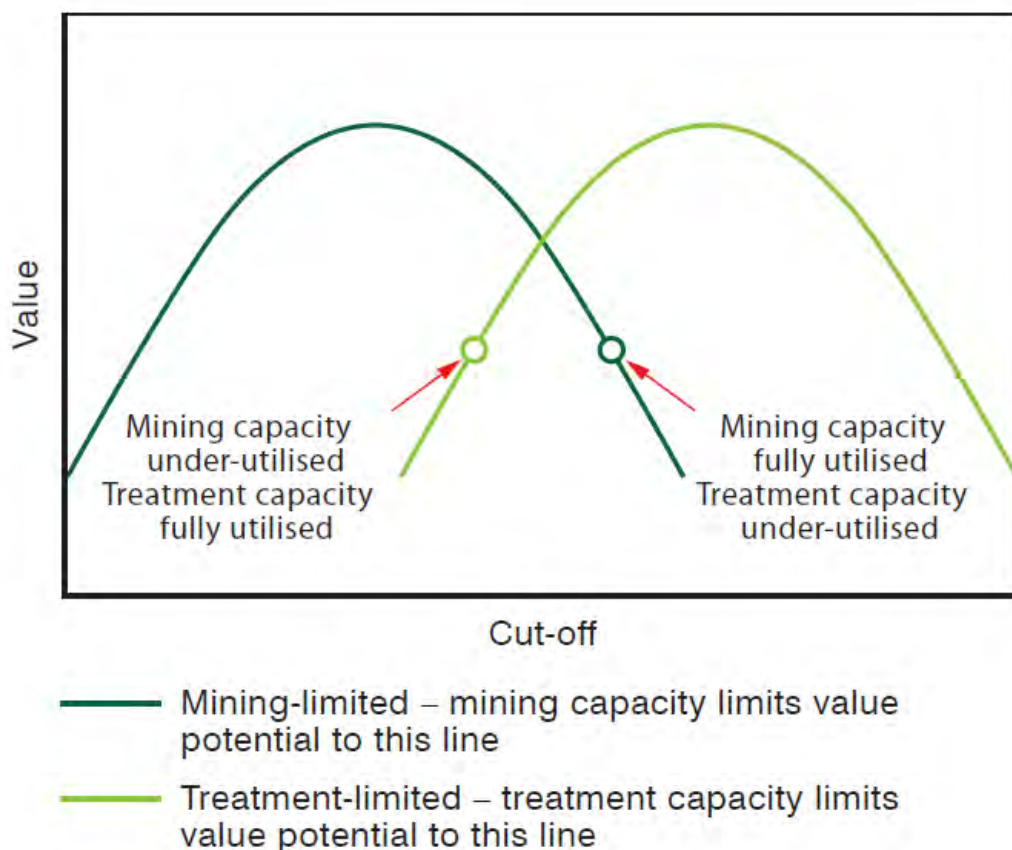


Figura 10. Valor (VPN) vs Cut-off para mina y planta. Hall B (2014)

Cuando se consideran dos etapas juntas, las dos curvas limitan el potencial de generación de valor al área que está debajo de ambas curvas. El potencial de valor máximo se define por la menor de las dos curvas en cualquier punto de corte, como se ilustra en la Figura 11.



Esto ocurre cuando la proporción de mineral (es decir, toneladas de roca por encima de la ley de corte) a la roca total es igual a la proporción de la capacidad de tratamiento en planta (H) a la capacidad de extracción de mina (M).

Usando los mismos supuestos para derivar límites económicos de la ley de corte:

$$H = 2 \text{ Mt/año y } M = 5 \text{ Mt/año}$$

$$H/M = 2 M / 5 M = 40\%$$

Tonnage and grade versus cut-off curves illustrating the mining-treatment balancing cut-off.

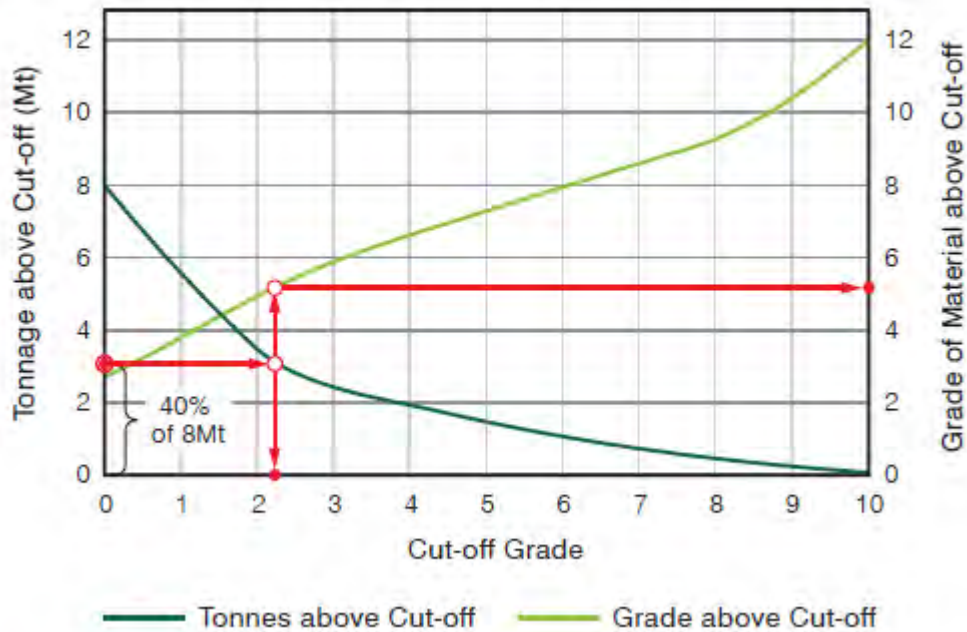


Figura 12. Curva tonelaje- ley para la Ley de Corte de Equilibrio de Mina-Planta. Hall B (2014)

Se puede ver en la Figura 5 que, para una capacidad de mina de 8 Mt de roca, el mejor 40 por ciento será 3.2 Mt.

A partir de las curvas, esto se generará utilizando un límite de 2.3%, y la ley correspondiente del mineral por encima de este límite será de aproximadamente 5.3%.

### 11.2.2. LEY DE CORTE DE EQUILIBRIO DE PLANTA-MERCADO ( $g_{hk}$ )

Ley de Corte de Equilibrio de Planta-Mercado da como resultado que tanto los procesos de mineral como de producto operen a su capacidad. Esto ocurre cuando la relación entre el producto recuperado y el mineral, que es el grado de recuperación, es igual a la relación entre la capacidad de comercialización (K) y la capacidad de tratamiento (H).

Usando los mismos supuestos para derivar límites económicos de la ley de corte:

$$K = 150\,000 \text{ t / año y } H = 2 \text{ Mt / año}$$

$$K / H = 0.15 M / 2 M = 7.5 \%$$

Tonnage and grade versus cut-off curves illustrating the treatment-marketing balancing cut-off.

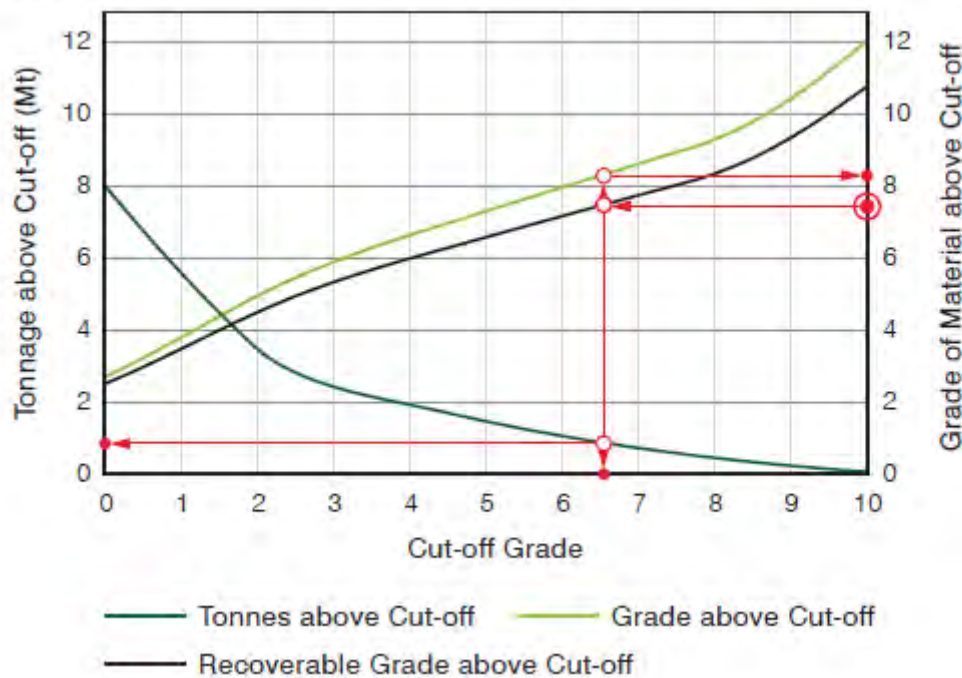


Figura 13. Curva tonelaje- ley para la Ley de Corte de Equilibrio de Planta-Mercado. Hall B (2014)

Asumiendo que el grado de recuperación metalúrgica es de 90%. Se puede ver que la calificación recuperable requerida se obtendrá utilizando una ley de corte aproximadamente de 6.7%. La ley de cabeza será del 8,3% y el tonelaje de mineral correspondiente será de solo aproximadamente 800 000 t.

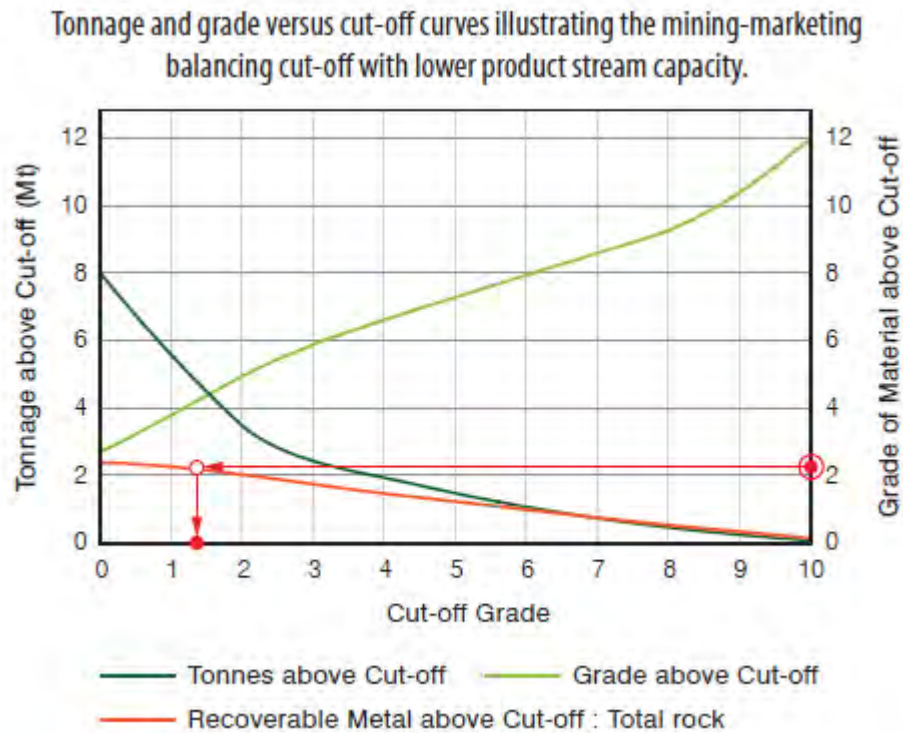
### 11.2.3. LEY DE CORTE DE EQUILIBRIO DE MINA-MERCADO ( $g_{mk}$ )

La Ley de Corte de Equilibrio de Mercado-Mina es donde la relación del producto recuperado con respecto a la roca total es igual a la relación entre la capacidad de comercialización (K) y la capacidad de minería (M).

La relación del producto con respecto a la roca total en la que está contenido es una ley, pero no es la ley con el que estamos más familiarizados, la ley del producto en el mineral. A medida que aumenta la ley de corte a un tonelaje de roca dado, la cantidad de mineral debe disminuir.

Para ilustrar la generación de una ley de corte de Equilibrio de Mercado-Mina positiva entre la minería y la comercialización, considere la situación si K se redujera de 150 000 t / a, digamos, 110 000 t / a.

El grado de roca recuperable para generar el equilibrio minero-marketing sería 2.2, y como puede verse en la Figura 6,  $g_{mk}$  sería del orden de 1.3%.



*Figura 14.* Curva tonelaje- ley para la Ley de Corte de Equilibrio de Mercado-Mina.  
Hall B (2014)

Completando el análisis del ejemplo:

Para los ejemplos desarrollados en las subsecciones anteriores:

- Los límites de leyes de corte de cada proceso fueron:

$$g_m = 1.10, g_h = 3.14, g_k = 1.45$$

- Las leyes de corte de equilibrio derivados fueron:

$$g_{mh} = 2.3, g_{hk} = 6.7 \text{ y } g_{mk} = 0.0.$$

Los puntos de corte óptimos para pares de etapas son los siguientes:

- $G_{mh}$  = valor medio de  $g_m$ ,  $g_h$  y  $g_{mh}$  = valor medio de 1.10, 3.14 y 2.3 = 2.3%

Graphical derivation of intermediate optimum cut-off for mining and treatment.

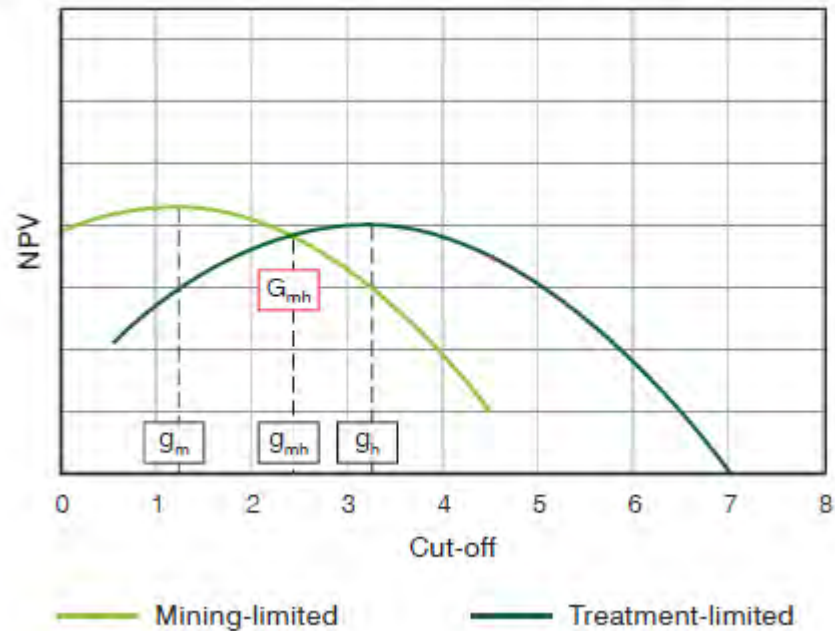


Figura 15. Ley de Corte de Equilibrio de Mina - Planta. Hall B (2014)

- $G_{hk}$  = valor medio de  $g_h$ ,  $g_k$  y  $g_{hk}$  = valor medio de 3.14, 1.45 y 6.7 = 3.14%

Graphical derivation of intermediate optimum cut-off for treatment and marketing.

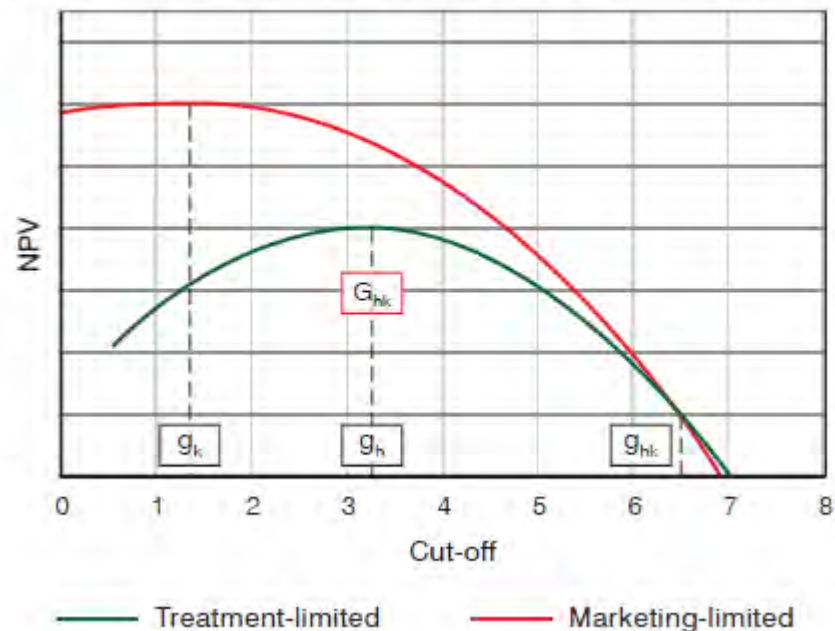


Figura 16. Ley de Corte de Equilibrio de Planta – Mercado. Hall B (2014)

- $G_{mk}$  = valor medio de  $g_m$ ,  $g_k$  y  $g_{mk}$  = valor medio de 1.10, 1.45 y 0.0 = 1.10%

Graphical derivation of intermediate optimum cut-off for mining and marketing.

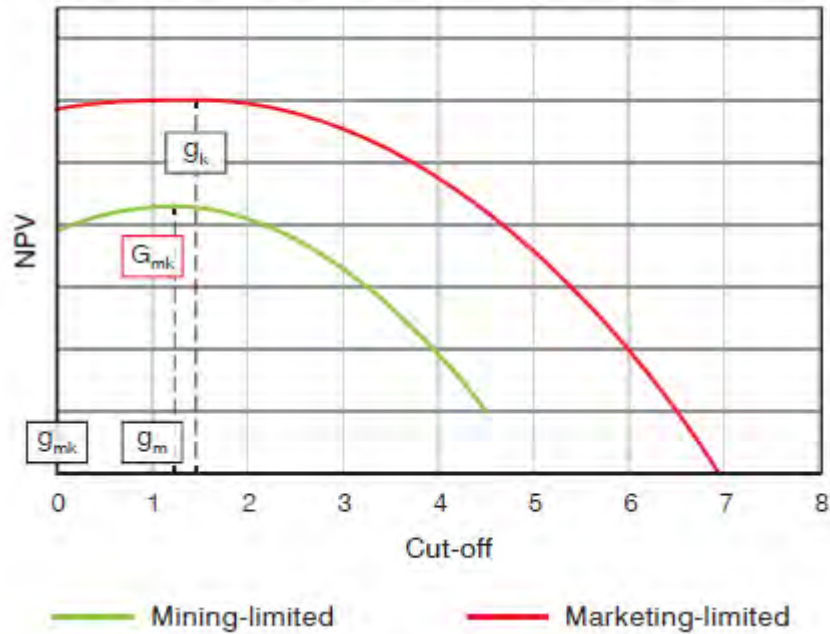


Figura 17. Ley de Corte de Equilibrio de Mina - Mercado. Hall B (2014)

El corte óptimo para todas las etapas viene dado por:

- $G_{mhk}$  = valor medio de  $G_{mh}$ ,  $G_{hk}$  y  $G_{mk}$  = valor medio de 2.3, 3.14 y 1.10 = 2.3%

Graphical derivation of optimum cut-off for mining, treatment and marketing.

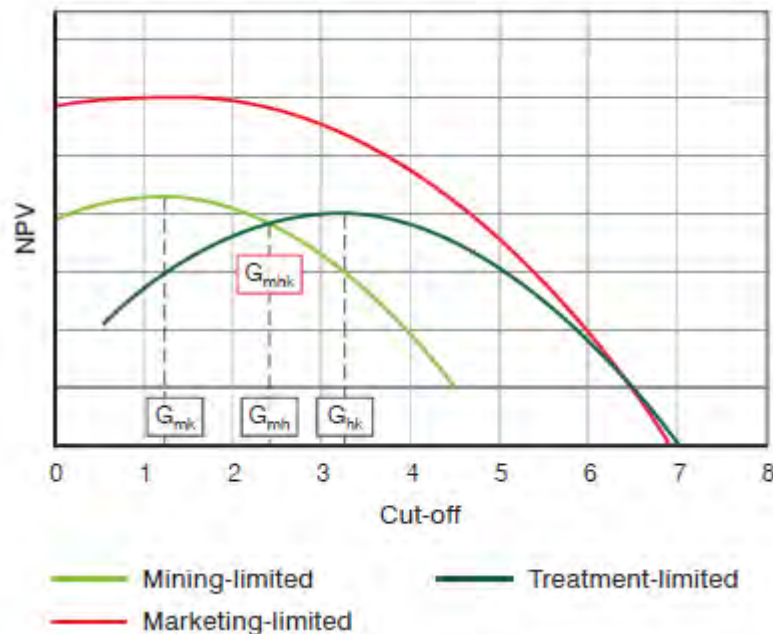
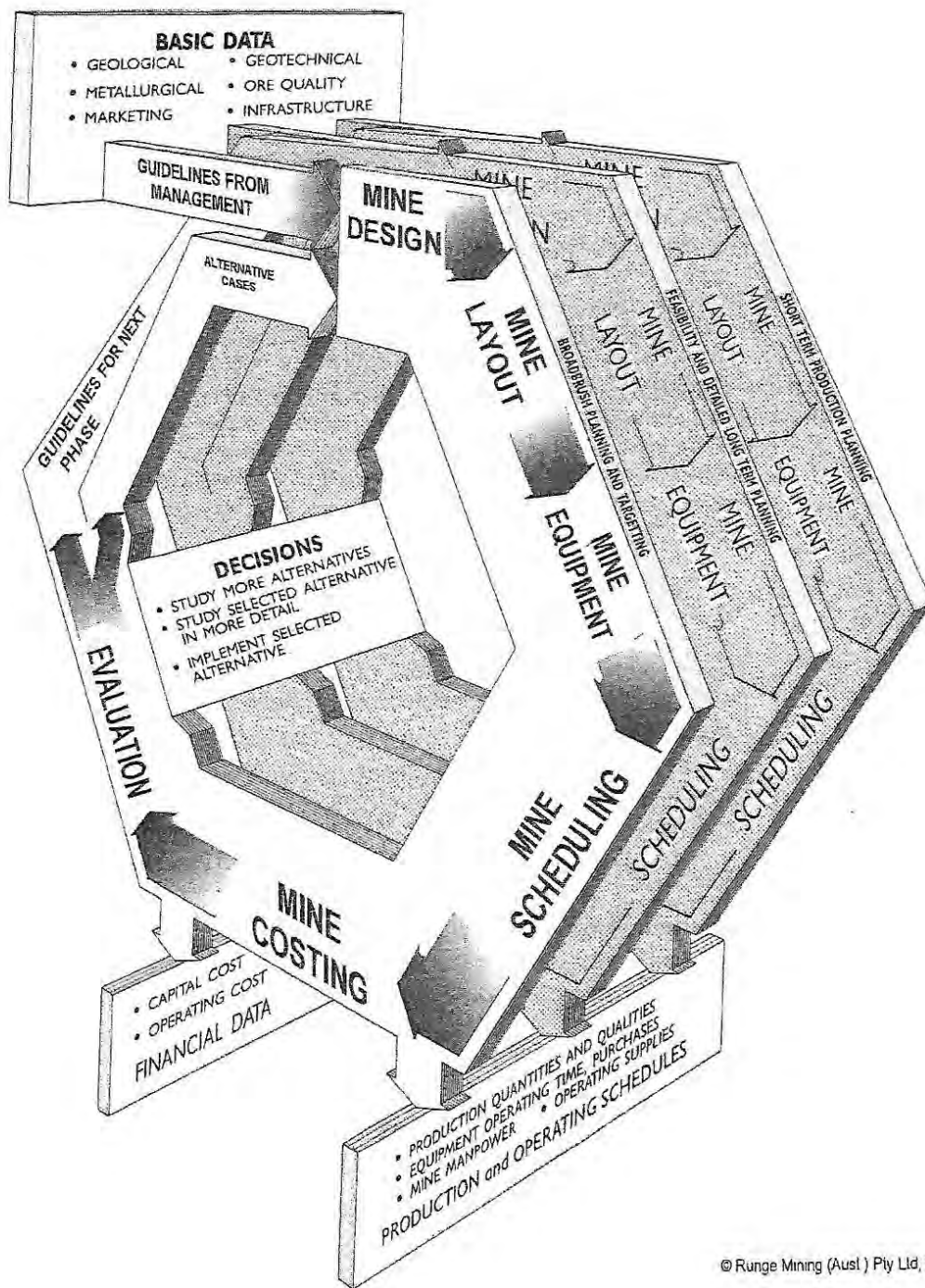


Figura 18. Ley de Corte de Optima de Mina – Mercado - Planta. Hall B (2014)

Para este conjunto de circunstancias con seis posibles cortes que oscilan entre 0.0 y 6.7, el óptimo es 2.3%, que resulta ser el corte de balance de tratamiento de minería  $g_{mh}$ .



© Runge Mining (Aust.) Pty Ltd, 1997

Source: Figure has been derived from work undertaken by the author at Runge Ltd., and permission to include this diagram from this source is acknowledged. Runge (2000) outlines a more comprehensive generalized model of decision making under uncertainty, of which this figure represents a narrow mining-related subset.

FIGURE 3.1 Iterative mine-planning flowchart

Figura 19. Diagrama de flujo iterativo de planeamiento de mina. Runge (2000)

## MODELO GENERAL DE LEYES DE CORTE DE K.LANE

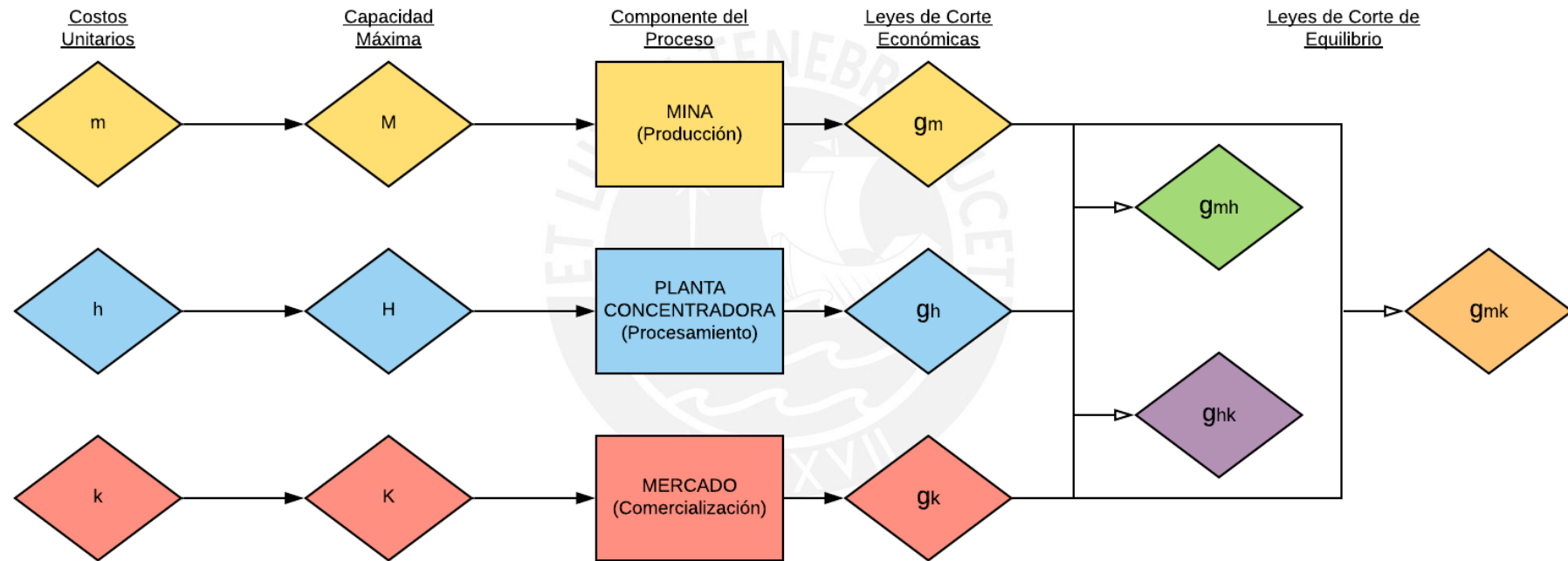
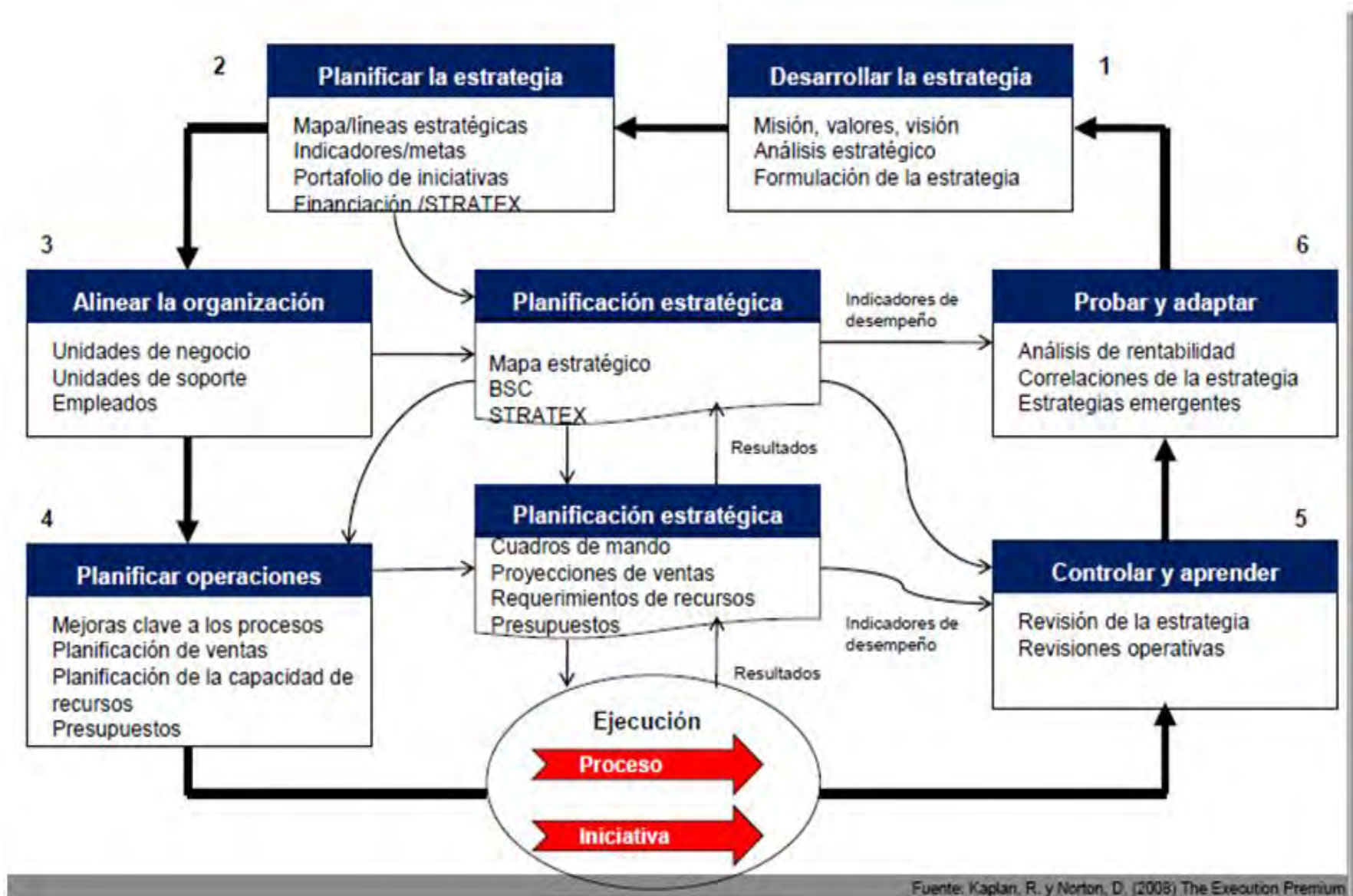


Figura 20. Modelo General de Leyes de Corte Kenneth F. Lane. Elaboración propia.



Fuente: Kaplan, R. y Norton, D. (2008) The Execution Premium

Figura 21. Sistema de Gestion Integrando la estrategia y las operaciones. Fuente:Kaplan R. y Norton D. (2008) The Execution Premium

## 12. CASO DE ESTUDIO

El proyecto “Justo Juez” es un modelo hipotético contará con 4 cuerpos (Odiseo, Paris, Aquiles y Héctor) con contenido de Au y Ag y donde el mineral principal será Ag con bloques de 10m x10m x10m. Los recursos minerales del proyecto minero han sido clasificados de acuerdo con los requerimientos del Código de Reporte de Resultados de Exploración, Recursos Minerales y Reservas de Minerales ("JORC"). Para el desarrollo de este estudio se trabajará solo con el cuerpo mineralizado “ODISEO”, es un yacimiento epitermal de baja sulfuración de vetas de cuarzo enriquecidas en oro y plata siendo el mineral de plata el más abundante.

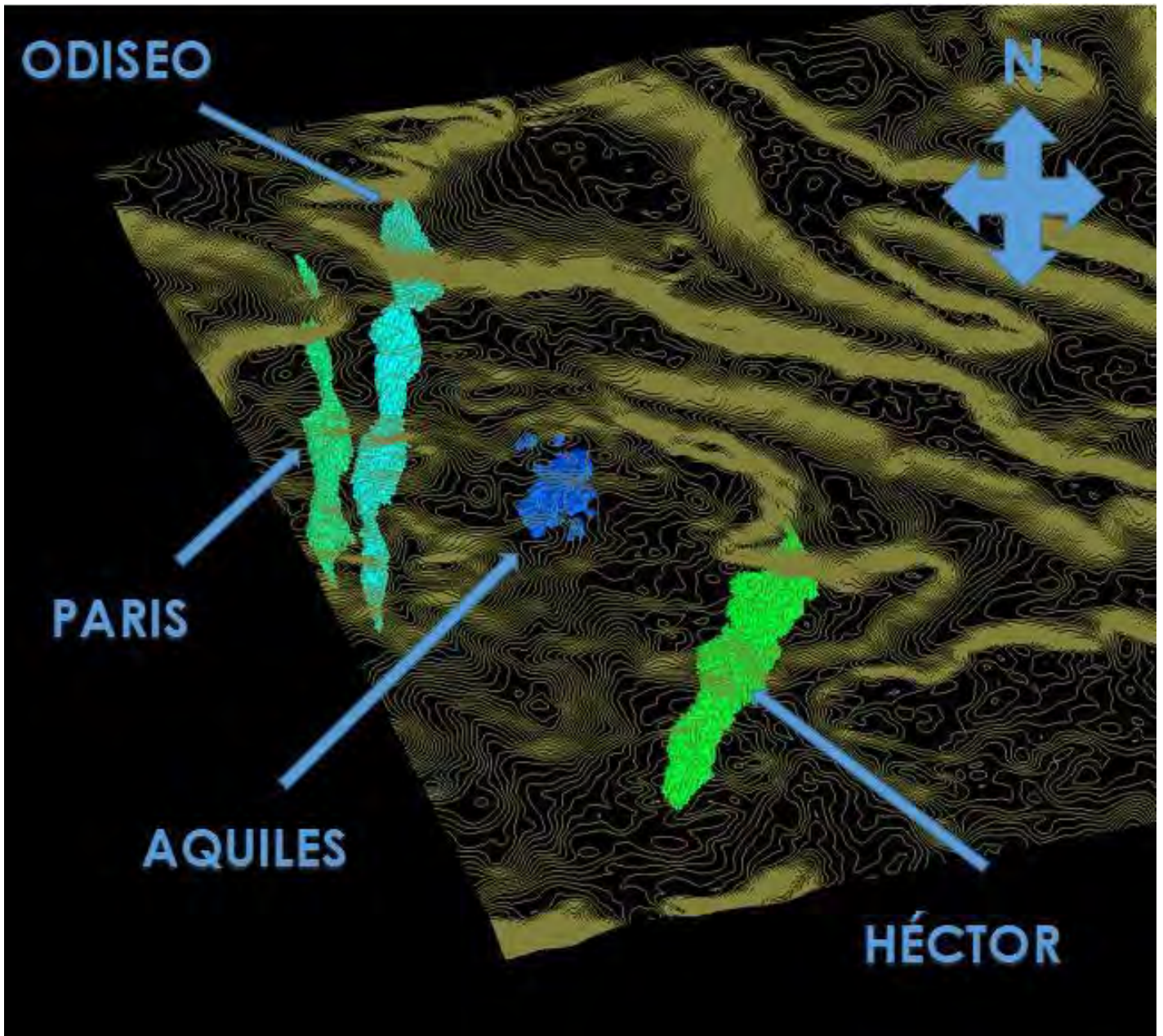


Figura 22. Cuerpos mineralizados en 3D

## 12.1. SUMMARY

El modelo de bloques que se maneja es de 10 m x 10 m x 10 m. Se realiza el siguiente informe usando el promedio de precio de la plata y oro de los 15 últimos años, siendo la plata el mineral principal del yacimiento. Además, para determinar la dilución se utiliza el método O'Hara. El método de minado que se recomienda usar es Corte y Relleno (Cut and Fill) dado que se tiene un RMR de 45 y principalmente se obtiene mayor margen económico en el análisis Trade Off. Asimismo, por el análisis de estabilidad cada tajeo debe tener unas dimensiones de 5x5x10 sería la dimensión más favorable para la extracción segura del cuerpo mineral.

**PROJECT: "JUSTO JUEZ" – VETA ODISEO**

**RESOURCES MINERAL: CUT OFF 20 US\$/t**

**MEASURED – INDICATED – INFERRED: 1,715,787 TONNES**

**@ 2.87 Au/t @ 133.65 Ag / t @ EQ Ag 312.82 g/t @ EQ Ag 10.06 oz/t**

**RESERVES MINERAL CUT OFF 63.15 US\$/t**

**PROVEN - PROBABLE: 800,521 TONNES**

**@ 3.17 Au/t @ 181.86 Ag / t @ EQ Ag 379.15 g/t @ EQ Ag 12.19 oz/t**

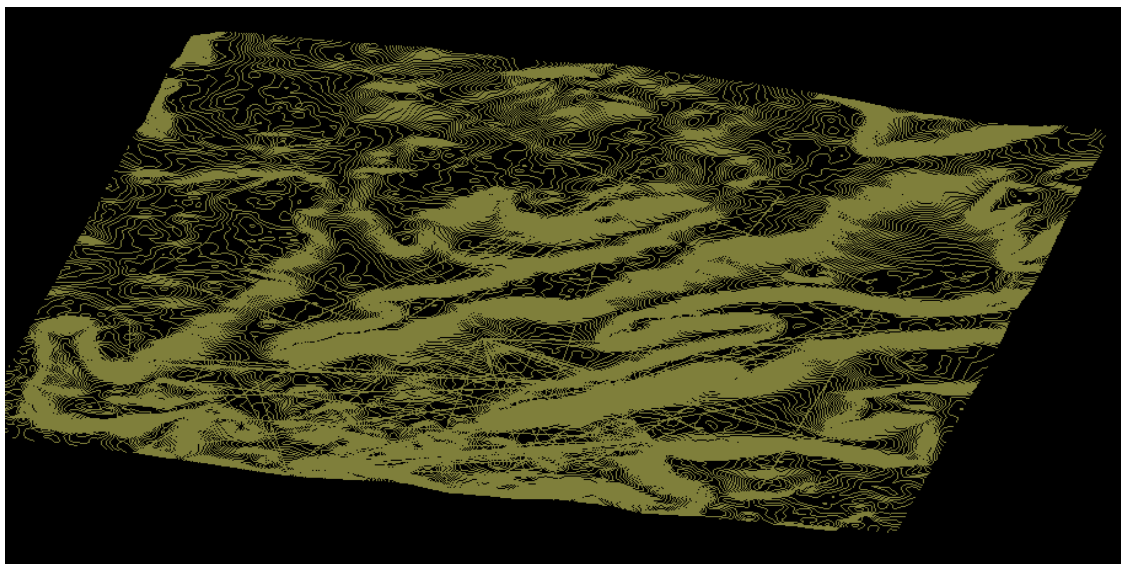
## 12.2. MODELAMIENTO GEOLÓGICO

Para el modelamiento de toda la base de datos del proyecto se trabajó con el software MineSight. Es una práctica común que se creen planes de diseños subterráneos secuencialmente, donde los resultados de un proceso de planificación forman la entrada datos para tener finalmente el diseño definitivo de infraestructura de mina, programación de tonelajes y leyes a lo largo, definición del plan de minado a corto, mediano y/o largo plazo; y principalmente para nuestro caso determinación de la rentabilidad del proyecto minero (maximizar el Valor Presente Neto (VPN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR)) . Las técnicas de optimización computarizada deben considerar un enfoque integrado para crear el plan minero global. Esto es porque la optimización de un proceso individual de planificación de la mina, como los diseños de rebajes, introduce una probabilidad de aumentar los costos o disminuir los ingresos asociados con otras áreas, como la programación de la producción, ya que las decisiones deben equilibrarse en pro y contras. Considerar la interacción e influencia que los procesos individuales de planificación de minas subterráneas tienen entre sí durante la optimización proporcionará resultados más rentables que si se ignoran. Asimismo, para lograr generación del modelamiento geológico en 3D se parte del modelamiento de los sondajes en 3D para luego hacer su interpretación geológica en 3D.

### 12.2.1. TOPOGRAFÍA

El estudio de topografía en todo proyecto minero es de suma importancia ya que permite determinar el diseño óptimo para la construcción. Por ejemplo, con este se puede determinar los lugares de acceso o de implementación de plantas para movilizar la mínima cantidad de material, lo cual influye significativamente en los costos.

La topografía se determinó con la importación de las curvas de nivel al software.



*Figura 23.* Curvas de nivel del proyecto en 3D

### 12.2.2. MODELO DE BLOQUES

El modelo de bloques se utiliza en yacimientos masivos donde se discretiza el depósito geológico a través de pequeñas unidades denominados bloques SMU (Unidad Selectiva de Minado) que generaran sub-celdas acorde a la geometría del yacimiento; cada bloque tiene su ubicación espacial (X, Y, Z) y contiene información relacionada a diferentes campos tales como litología predominante, elementos químicos, densidades, propiedades geomecánicas, porcentaje del bloque debajo de la topografía, los parámetros producción diaria etc.

Una vez que se carga toda la data es necesario agrupar toda la información en una Unidad Selectiva de Minado (Selective Mining Unit – SMU) en nuestro caso de 10 m x 10 m x 10 m. Esta unidad representa el mínimo volumen de explotación y a la vez proporciona leyes promedias y por lo tanto un valor por tonelada (VPT) específico.

Para los recursos se debe tener su clasificación de acuerdo a los códigos de certificación de recursos y reservas de mineral (JORC), potencia del cuerpo mineralizado, método de explotación después del Trade Off, factor de dilución y factor de recuperación de minado según el método de explotación seleccionado y calcular el Valor Por Tonelada (con ayuda del Valor Unitario de cada metal del yacimiento) de cada bloque.

A continuación, se presenta el modelo de bloques en función de la condición de los recursos: medidos, indicados e inferidos:

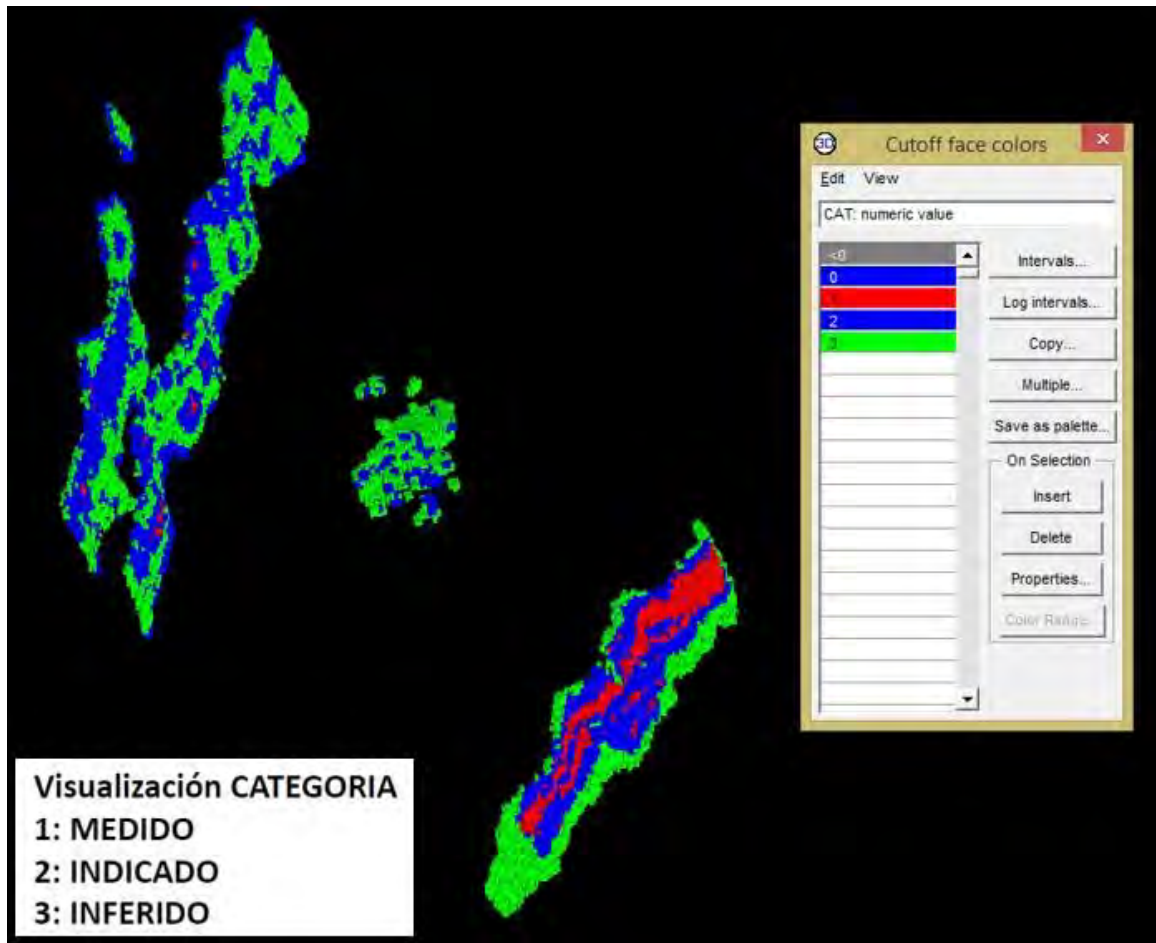


Figura 24. Clasificación de Recursos del Cuerpo Mineralizado

### 12.3. CORRECCIÓN GEOESTADÍSTICA

Para identificar los altos erráticos se usó un histograma de frecuencia y los valores mayores a la media más dos desviaciones estándar. Se trataron los datos con los métodos geoestadísticos de SICHEL, CORTES (“CUTTINGS”) EMPÍRICOS:

- Cut off alto variable” (regla del  $1/3 - 1/3$ ) y “Cut off” alto fijo ( $Media+2Desv$ ).
- Se puede observar una fuerte tendencia lineal entre las leyes de oro y plata, después del tratamiento.
- La proporcionalidad entre la plata y el oro, aumenta de 55.97% a 99.63% donde la línea de tendencia se ajusta casi perfectamente respecto a los datos de las leyes de plata y oro; asegurando una alta confiabilidad a la hora del procesamiento de datos para el cálculo del VPT de cada bloque.

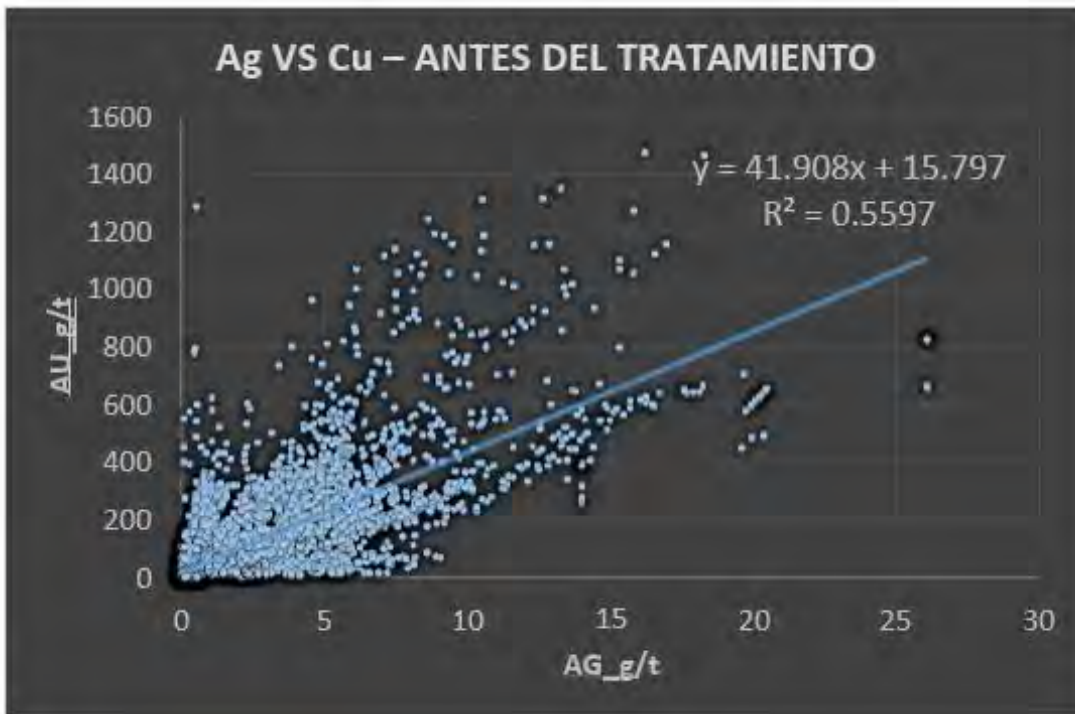


Figura 25. Correlación de Ag y Au antes del tratamiento

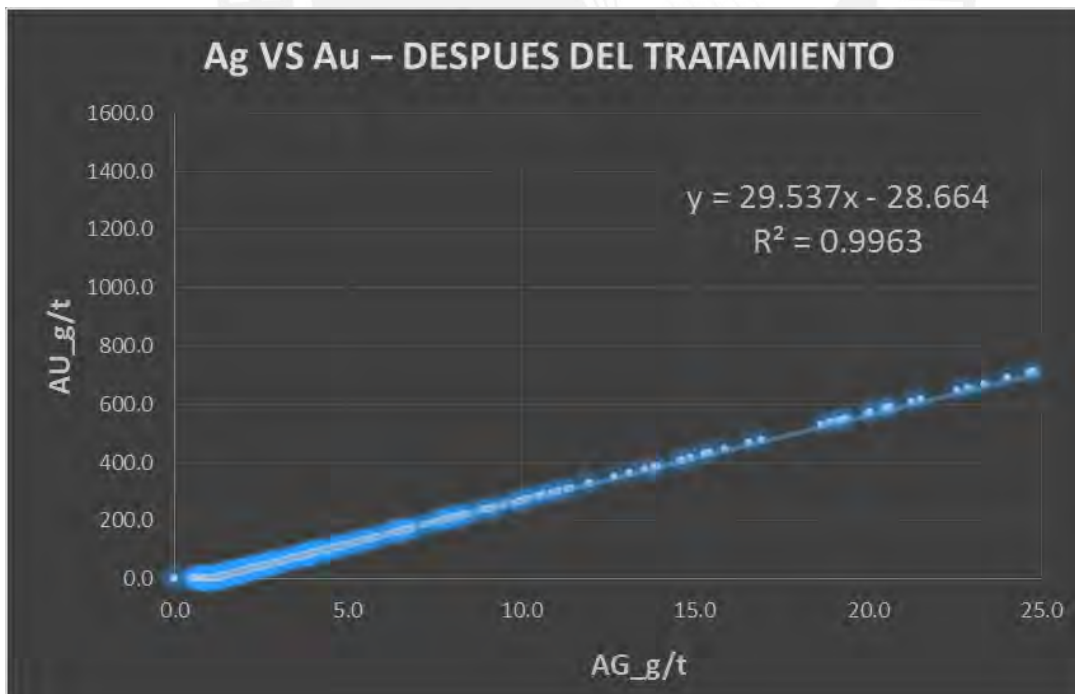


Figura 26. Correlación de Ag y Au después del tratamiento

## 12.4. ANÁLISIS DEL CUT OFF

Dicha ley se determinó mediante la creación de un histograma que agrupe todos los valores por tonelada (VPT) de cada de cada muestra de la base de datos:

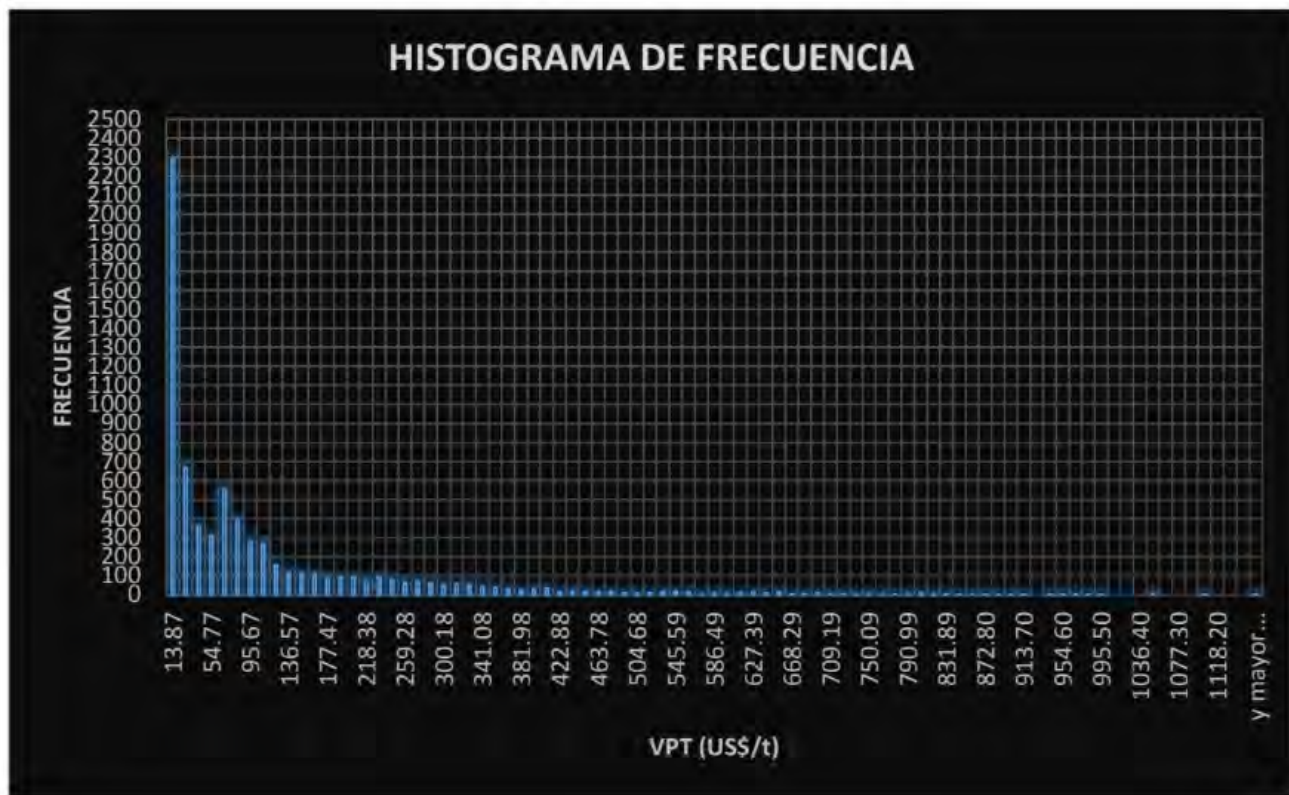


Figura 27. Histograma de Frecuencia de VPT

De acuerdo a ello se emplea una ley de corte desde 0 US\$/t hasta 100 US\$/t con cinco intervalos referenciales para el Cut Off:

Tabla 1: Intervalos referenciales para el Cut Off

<b>Intervalos (US\$/t)</b>	0	20	0-20
	20	40	20-40
	40	60	40-60
	60	80	60-80
	80	100	80-100
	100	MAS	100-MAS

Para determinar una ley de corte para el proyecto primero se determina el Break Even Cut Off (BECOFF) que es el costo total, es decir, es la suma de los costos variables y fijos de este y luego se compara con el VPT y se evalúa que Cut Off es aceptable. Este proceso se realizará posteriormente.

#### 12.4.1. Cut Off 0 US\$/t

El modelamiento para una ley de corte de 0 US\$ implica en realidad todo el modelo de bloques pues todos los VPT son positivos

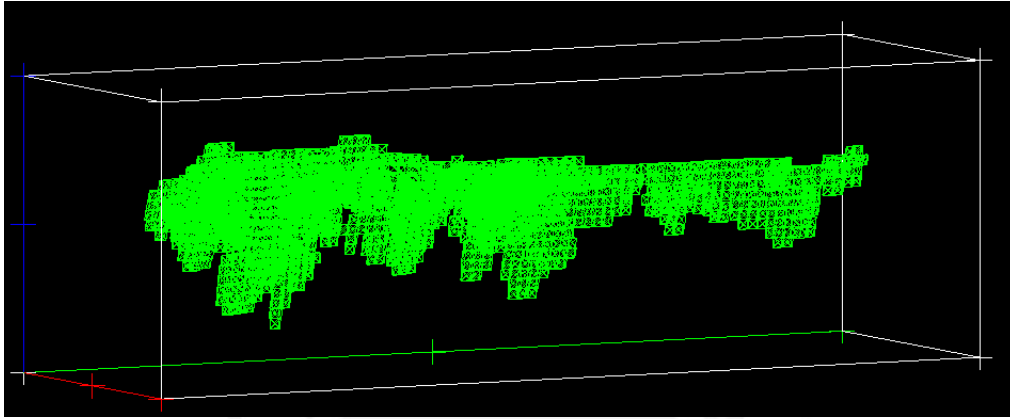


Figura 28. Modelamiento para Cut off 0 US\$/t

#### 12.4.2. Cut off 10 US\$/t

El modelamiento para una ley de corte de 10 US\$ implica a los bloques que presenten un VPT superior a 10 US\$/t.

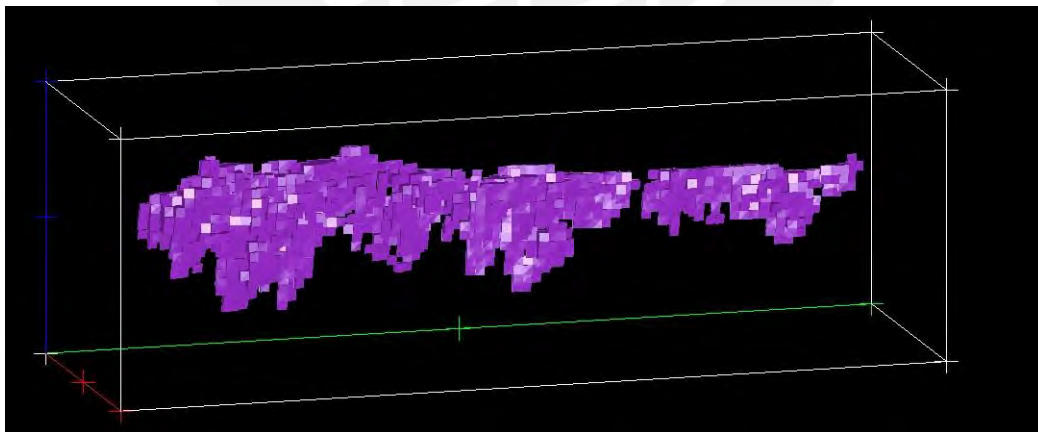
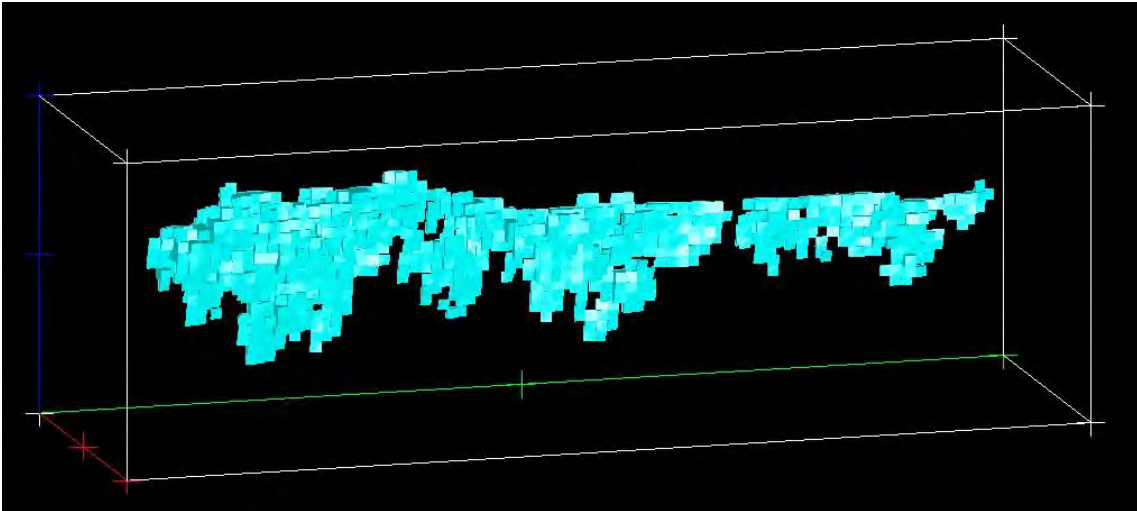


Figura 29. Modelamiento para Cut off 10 US\$/t

#### 12.4.3. Cut off 20 US\$/t

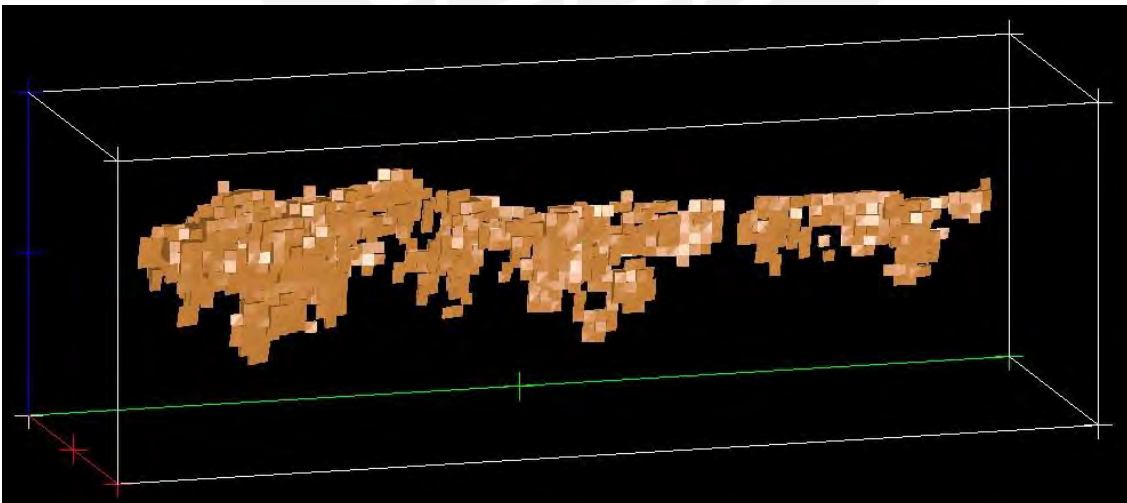
El modelamiento para una ley de corte de 20 US\$ implica a los bloques que presenten un VPT superior a 20 US\$/t.



*Figura 30.* Modelamiento para Cut off 20 US\$/t

#### 12.4.4. Cut off 30 US\$/t

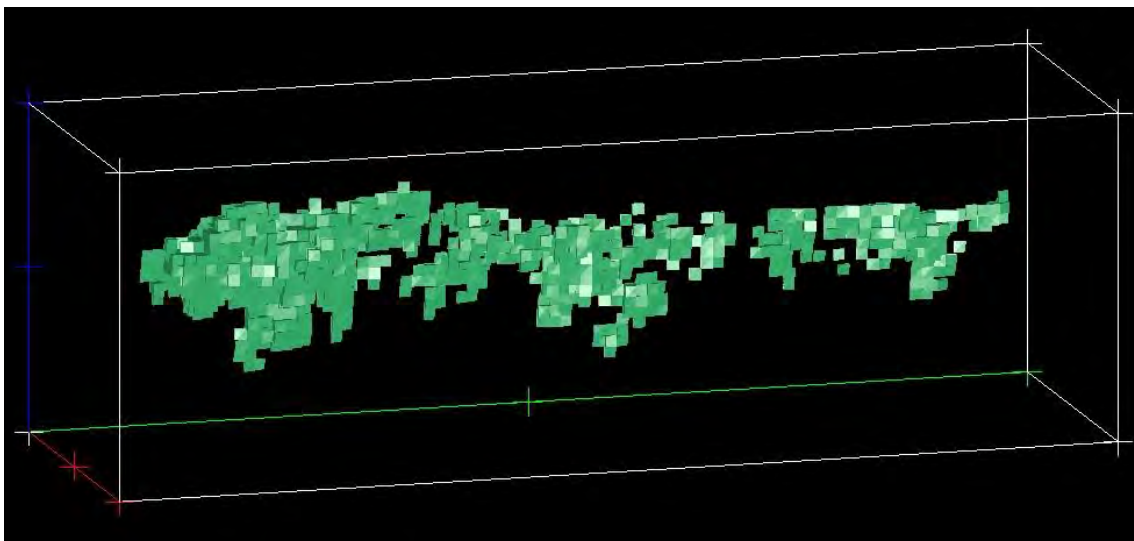
El modelamiento para una ley de corte de 30 US\$ implica a los bloques que presenten un VPT superior a 30 US\$/t.



*Figura 31.* Modelamiento para Cut off 30 US\$/t

#### 12.4.5. Cut off 40 US\$/t

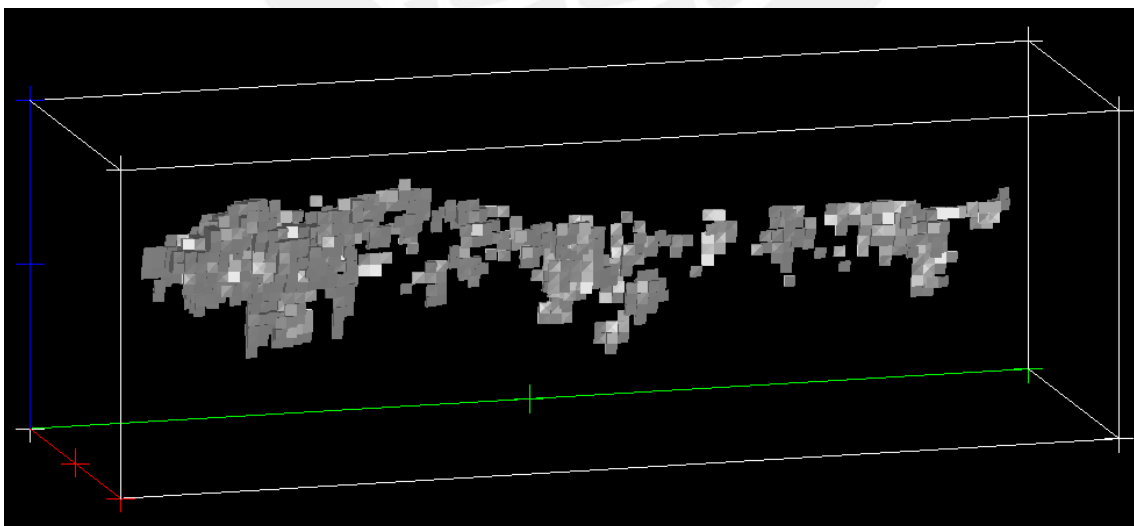
El modelamiento para una ley de corte de 40 US\$ implica a los bloques que presenten un VPT superior a 40 US\$/t.



*Figura 32.* Modelamiento para Cut off 40 US\$/t

#### 12.4.6. Cut Off 50 US\$/t

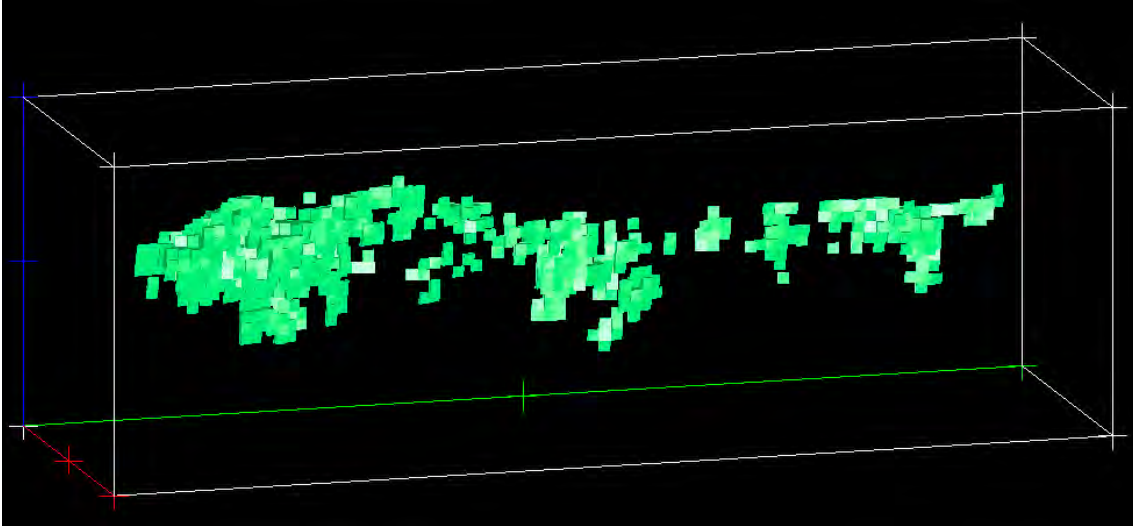
El modelamiento para una ley de corte de 50 US\$ implica en realidad todo el modelo de bloques pues todos los VPT superior a 50 US\$/t.



*Figura 33.* Modelamiento para Cut off 50 US\$/t

#### 12.4.7. Cut Off 60 US\$/t

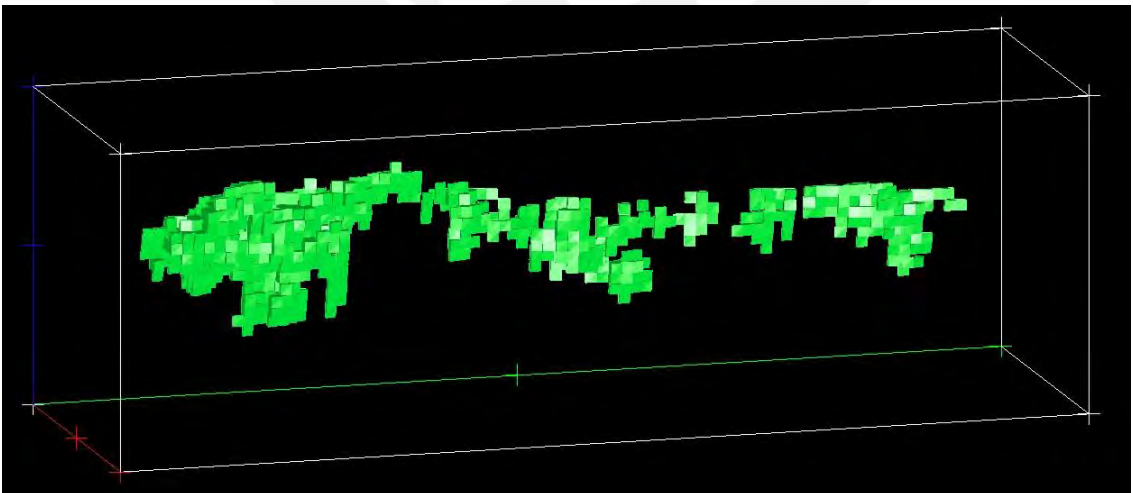
El modelamiento para una ley de corte de 60 US\$ implica a los bloques que presenten un VPT superior a 60 US\$/t.



*Figura 34.* Modelamiento para Cut off 60 US\$/t

#### 12.4.8. Cut off 70 US\$/t

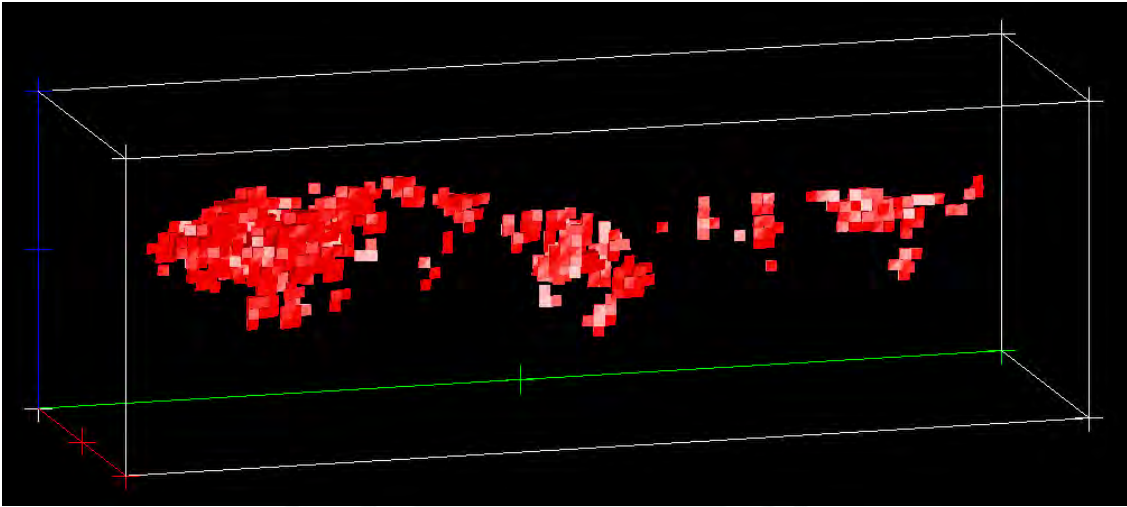
El modelamiento para una ley de corte de 70 US\$ implica a los bloques que presenten un VPT superior a 70 US\$/t.



*Figura 35.* Modelamiento para Cut off 70 US\$/t

#### 12.4.9. Cut off 80 US\$/t

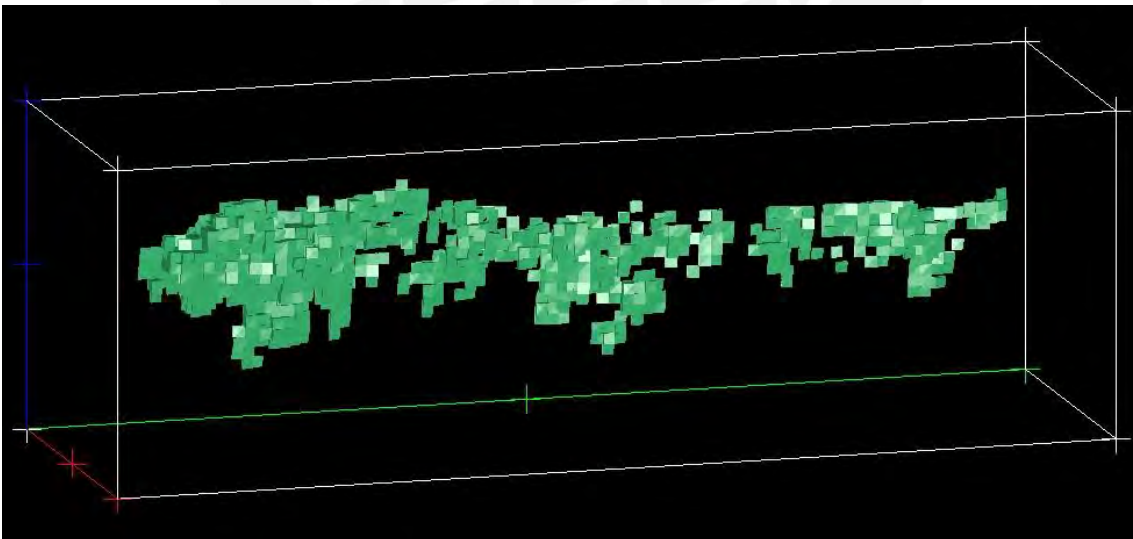
El modelamiento para una ley de corte de 80 US\$ implica a los bloques que presenten un VPT superior a 80 US\$/t.



*Figura 36.* Modelamiento para Cut off 80 US\$/t

#### 12.4.10. Cut off 90 US\$/t

El modelamiento para una ley de corte de 90 US\$ implica a los bloques que presenten un VPT superior a 90 US\$/t.



*Figura 37.* Modelamiento para Cut off 90 US\$/t

#### 12.4.11. Cut off 100 US\$/t

El modelamiento para una ley de corte de 100 US\$ implica a los bloques que presenten un VPT superior a 100 US\$/t.

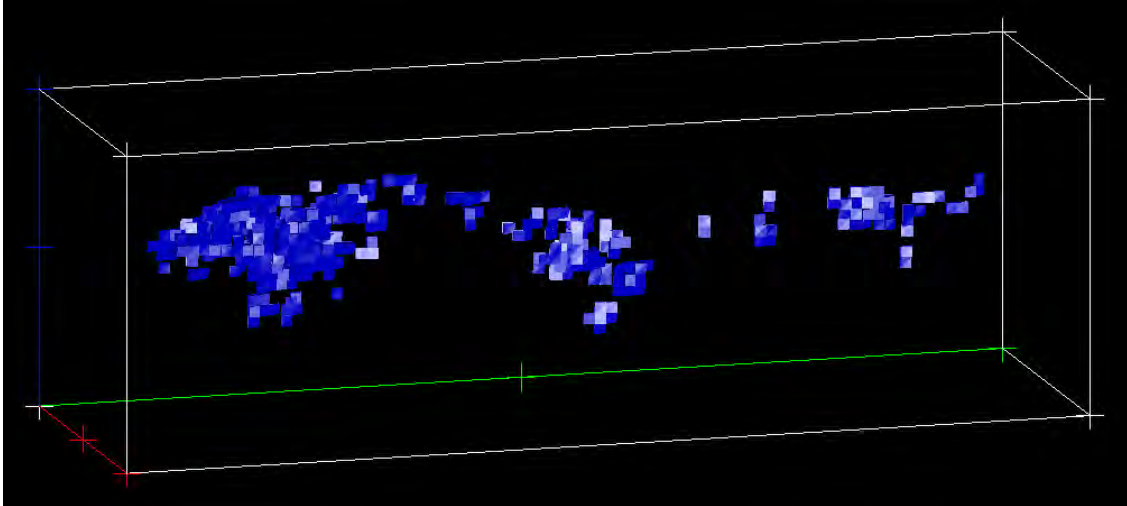


Figura 38. Modelamiento para Cut off 100 US\$/t

#### 12.5. POTENCIAS DE MINERAL

Para determinar los recursos y reservas es necesario primero conocer las potencias de cada modelo de bloques a distinta ley de corte. Para ello se realizó tres cortes en cada modelo de bloque y a partir de cada corte se determina, con ayuda de AutoCAD las potencias para Cut-Off.

Tabla 2: *Potencia de mineral para cada Cut Off*

	<b>CUT OFF 0</b>	<b>CUT OFF 20</b>	<b>CUT OFF 40</b>	<b>CUT OFF 60</b>	<b>CUT OFF 80</b>	<b>CUT OFF 100</b>
<b>ÁREA TOTAL (m<sup>2</sup>)</b>	38,554	26,206	22,248	19,187	16,760	11,980
<b>POTENCIA PONDERADA (m)</b>	7.71	7.98	7.99	8.09	8.1	8.08

## 12.6. ELECCIÓN DE MÉTODO DE MINADO

Evaluamos el método de minado según las características del cuerpo mineralizado.

- Ley relativamente alta
- Potencia de veta mínima de 3.17 y máxima de 10.8
- Material de relleno Hidráulico y Detrítico
- Buzamiento sub vertical 70°

Podemos tener varios frentes de trabajo simultáneos. Se buscará extraer el mineral de manera transversal a la veta y de este modo se optimizará el proceso siendo más versátiles, selectivos, y por ende se reducirá la dilución. Se procederá a dejar mineral por zonas para extraerlas después de haber usado material de relleno en los frentes primarios. Sin embargo, en las zonas donde la veta posee menor potencia se tendrá que extraer esta de manera longitudinal. Es en ese frente donde se tendrá la mayor dilución porque los hastiales serán de material estéril o de muy baja ley. Asimismo, se recomienda tener cámaras de almacenamiento de material obtenido por las labores de acceso para posteriormente usarlas como material de relleno.

### 12.6.1. CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA

La **clasificación geomecánica RMR - Rock Mass Rating (Bieniawski, 1989)**, tiene como objetivo definir la calidad de los macizos rocosos.

Los objetivos que se persiguen con esta clasificación son:

1. Dividir el macizo rocoso en grupos de conducta análoga.
2. Proporcionar una buena base de entendimiento de las características del macizo rocoso.
3. Facilitar la planificación y el diseño de estructuras en roca, proporcionando datos cuantitativos necesarios para la solución real de los problemas de ingeniería.
4. Proporcionar una base común para la comunicación efectiva entre todas las personas que trabajan en un determinado problema de geomecánica.

#### **Parámetros de clasificación:**

- a) Resistencia de la matriz rocosa (MPa) o Resistencia de la roca intacta, es decir, del material rocoso que no presenta discontinuidades estructurales.
- b) Parámetro RQD, que sirve para describir cuantitativamente la calidad de la roca en los testigos de sondeos.
- c) Espaciado entre diaclasas, dado que la resistencia del macizo rocoso va disminuyendo según va aumentando el número de juntas, siendo el espaciado de las juntas el factor más influyente en esta disminución de resistencia.
- d) Estado de las discontinuidades, se tiene que tener en cuenta la apertura, tamaño, rugosidad, dureza y relleno.
- e) Agua subterránea o freática, El efecto del agua tiene especial importancia en los macizos rocosos diaclasados. Se tendrá en cuenta el flujo de agua en el macizo rocoso.

Tabla 3: Clasificación del Macizo Rocoso

VALOR TOTAL DEL R.M.R.	81 – 100	61 – 80	41 – 60	21 – 40	< 20
CLASE NUMERO	I	II	III	IV	V
DESCRIPCION	MUY BUENO	BUENO	MEDIO	MALO	MUY MALO

Nota. Tomado de “Mecánica de rocas aplicada a la minería metálica subterránea”, por INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA, 2010.

Tabla 4: Significado de la Clasificación del Macizo Rocoso

CLASE NUMERO	I	II	III	IV	V
TIEMPO DE MANTENIMIENTO	10 años para 5 m	6 meses para 4 m	1 semana para 3 m	5 horas para 1,5 m	10 minutos para 0,5 m
COHESION	> 3 kg/cm <sup>2</sup>	2 – 3 kg/cm <sup>2</sup>	1,5–2 kg/cm <sup>2</sup>	1 – 1,5 kg/cm <sup>2</sup>	< 1 kg/cm <sup>2</sup>
ANGULO DE FRICCION	> 45°	40 – 45°	30 – 40°	30 – 35°	< 30°

Nota. Tomado de “Mecánica de rocas aplicada a la minería metálica subterránea”, por INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA, 2010.

Según los datos geomecánicos se trabajará con la clasificación geomecánica de Bieniawski o clasificación RMR promedio de 45, por ende, el Tipo de roca es III y de competencia media.

### 12.6.2. RELLENO DE MINA

#### FUNCIÓN DE LOS RELLENOS DE MINA

- ✓ Estabilizar el macizo rocoso, paredes y techos.
- ✓ Mejorar el ciclo de minado.
- ✓ Mejorar las condiciones de la labor porque ofrece un mejor piso de trabajo para el arranque
- ✓ y extracción del tajeo subsiguiente.
- ✓ Reducir la dilución del mineral por tener labores rellenas con mayor estabilidad.
- ✓ Selectividad en la extracción del mineral.
- ✓ Mejorar la recuperación de mineral en los pilares; esto conlleva a incrementar la vida de la
- ✓ mina y el total del retorno de la inversión.
- ✓ Previene la subsidencia.
- ✓ Mejora el flujo de ventilación.

#### VENTAJAS DEL USO DEL RELLENO DE MINA

- ✓ Disminuyen los apilamientos de desechos en superficie de la mina o planta de beneficio,
- ✓ reduciendo el impacto medioambiental.
- ✓ Reduce los riesgos por explosión de rocas.
- ✓ Facilita la selección del depósito mineral o veta en los tajeos secundarios.
- ✓ Aumenta los ratios de explotación.

- ✓ Si se utiliza relave de una planta concentradora, el costo de la obtención del material de
- ✓ relleno se reduce, ya que la planta cubre los costos de reducción de tamaño del material.
- ✓ Al depositarse el relleno en el tajeo en forma de pulpa tiende a buscar su nivel en forma
- ✓ natural, eliminando así la necesidad de utilizar recursos adicionales para esparcirlo manual o
- ✓ mecánicamente.
- ✓ El relleno hidráulico por la granulometría del material, permite una alta resistencia al
- ✓ movimiento de las cajas.

El relleno brinda estabilidad a la labor donde se está trabajando, asegurando de este modo los hastiales y corona, además facilita el desarrollo del proceso de minado al servir como piso para el trabajo a realizar, así como también disminuye la dilución. Existen tres tipos de relleno. Estos son los hidráulicos, detríticos y en pasta. Su elección depende del método de minado escogido, del material disponible y de los costos que estos representan.

El relleno preserva el confinamiento del macizo rocoso en los bordes de la excavación, ayuda con la resistencia al corte al largo de juntas existentes y detiene la propagación de alguna falla potencial.

El relleno hidráulico está formado principalmente por relave que ha pasado por el proceso de chancado en ese sentido su tamaño es diminuto y por ende el costo de reducción de tamaño es estas partículas ya fue asumido. Esto quiere decir que el tamaño reducido significa un ahorro del mismo. Este relleno es transportado a las labores como pulpa por lo que se debe realizar instalaciones adecuadas para su manejo. Esta pulpa está compuesta aproximadamente por 55% de sólidos por lo que se debe denar el excedente de agua después de depositarla. Este relleno posee una porosidad del 50%

El relleno detrítico es obtenido de la extracción producto de las labores de acceso. La voladura adecuada permite tener el tamaño requerido y este material puede depositarse en compartimientos que se puedan implementar en algunos niveles. Esto reduciría el tiempo de ciclo de minado ya que no será necesario extraer todo el material producto de la voladura hacia la superficie. El tamaño de los detritos puede variar entre 6 a 15cm aunque también se puede encontrar algunos tamaños de 30cm puede tener una compactación de 50%

El relleno en pasta está formado por material fino y cemento. El exceso de agua en este tipo de relleno es absorbido por el cemento y usado por el aglutinante como parte del proceso de compactación. Debemos mencionar que los costos de este tipo de relleno están entre el 10 y 20% del costo operativo y el cemento equivale al 75% del costo del relleno.

Tabla 5: Característica de los Rellenos de Mina

PROPIEDAD	RELLENO DETRÍTICO	RELLENO HIDRÁULICO	RELLENO EN PASTA
ESTADO	Seco	60-73% Sólido	65-85% Sólido
SISTEMA DE TRANSPORTE	Chimenea y equipo	Sondajes, tuberías a través de gravedad	Sondajes, tuberías a través de gravedad
CEMENTO	Si y no	Si y no	Si
RAZÓN AGUA/CEMENTO	Baja	Alta	Baja dependiendo de las especificaciones
VELOCIDAD DE DEPOSITACIÓN	100-400 tn/h	100-200 tn/h	50-200 tn/h
SEGREGACIÓN	En la pila se produce reduciendo su resistencia y rigidez	Se produce segregación lo cual induce baja resistencia	No existe segregación
RIGIDEZ	Alta si se instala correctamente	Baja	Baja a alta dependiendo de la composición
CONTACTO CON LAS PAREDES	Difícil	No se puede	Fácil de ajustar a paredes

Nota. Tomado del curso de “Servicios Auxiliares” - PUCP, por MSc. Marco A. Murillo Gutarra, 2018.

### 12.6.3. ANALISIS DE PRECIO DE LOS METALES

#### ANÁLISIS DE PRECIOS DEL ORO CON UN HISTÓRICO DE 15 AÑOS:

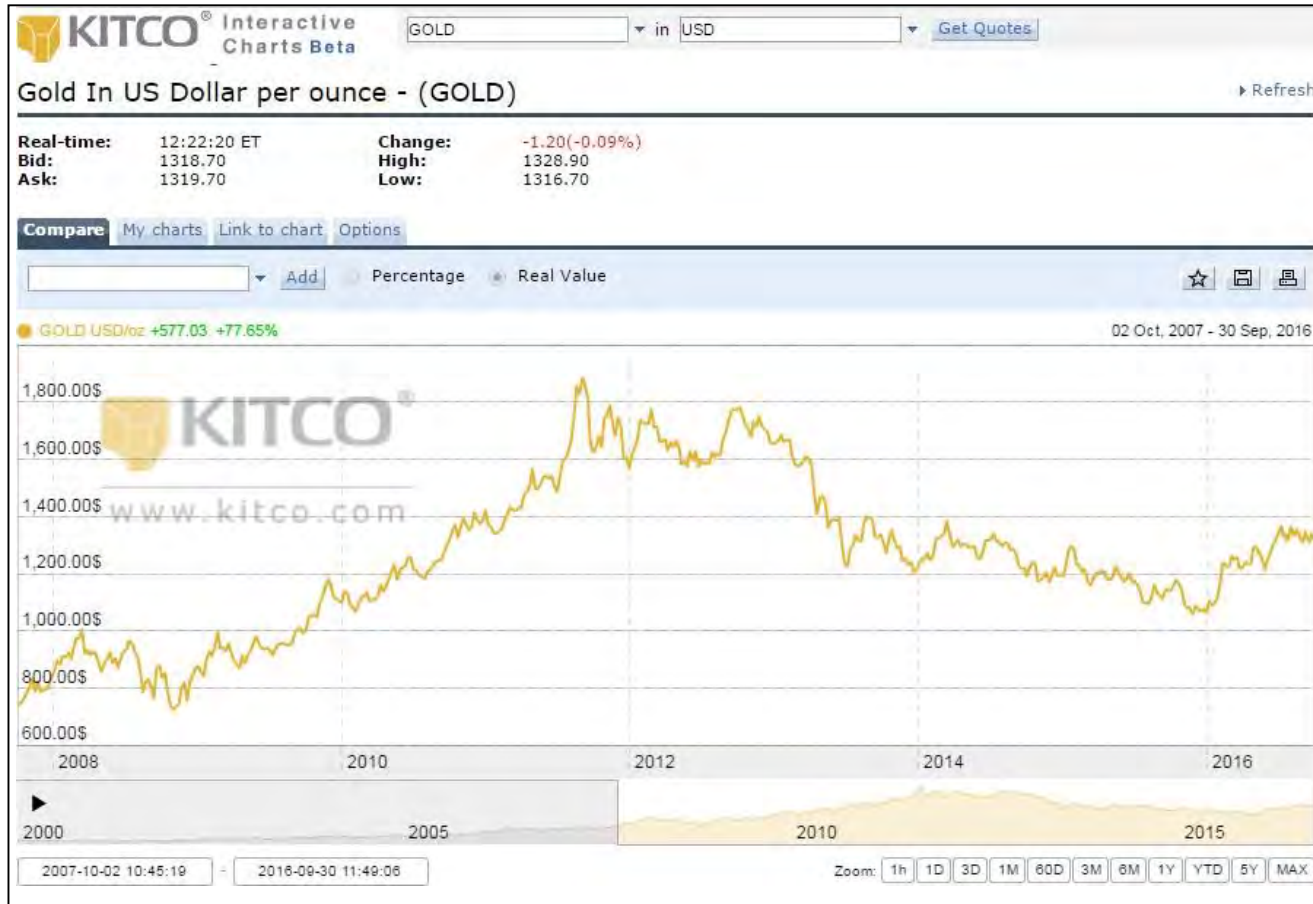


Tabla 6: Precio del oro en los últimos 15 años

AÑO	AU (\$/oz)
2019	1409.08
2018	1262.58
2017	1272.21
2016	1259.42
2015	1139.88
2014	1257.21
2013	1381.57
2012	1670.13
2011	1597.15
2010	1246.77
2009	984.94
2008	869.43
2007	718.78
2006	604.96
2005	458.37
<b>PROMEDIO</b>	<b>1142.16</b>

Figura 39. Variación del precio del oro en los últimos 15 años. Nota. Tomado de <http://www.kitcometals.com>

## ANÁLISIS DE PRECIOS DE LA PLATA CON UN HISTÓRICO DE 15 AÑOS:

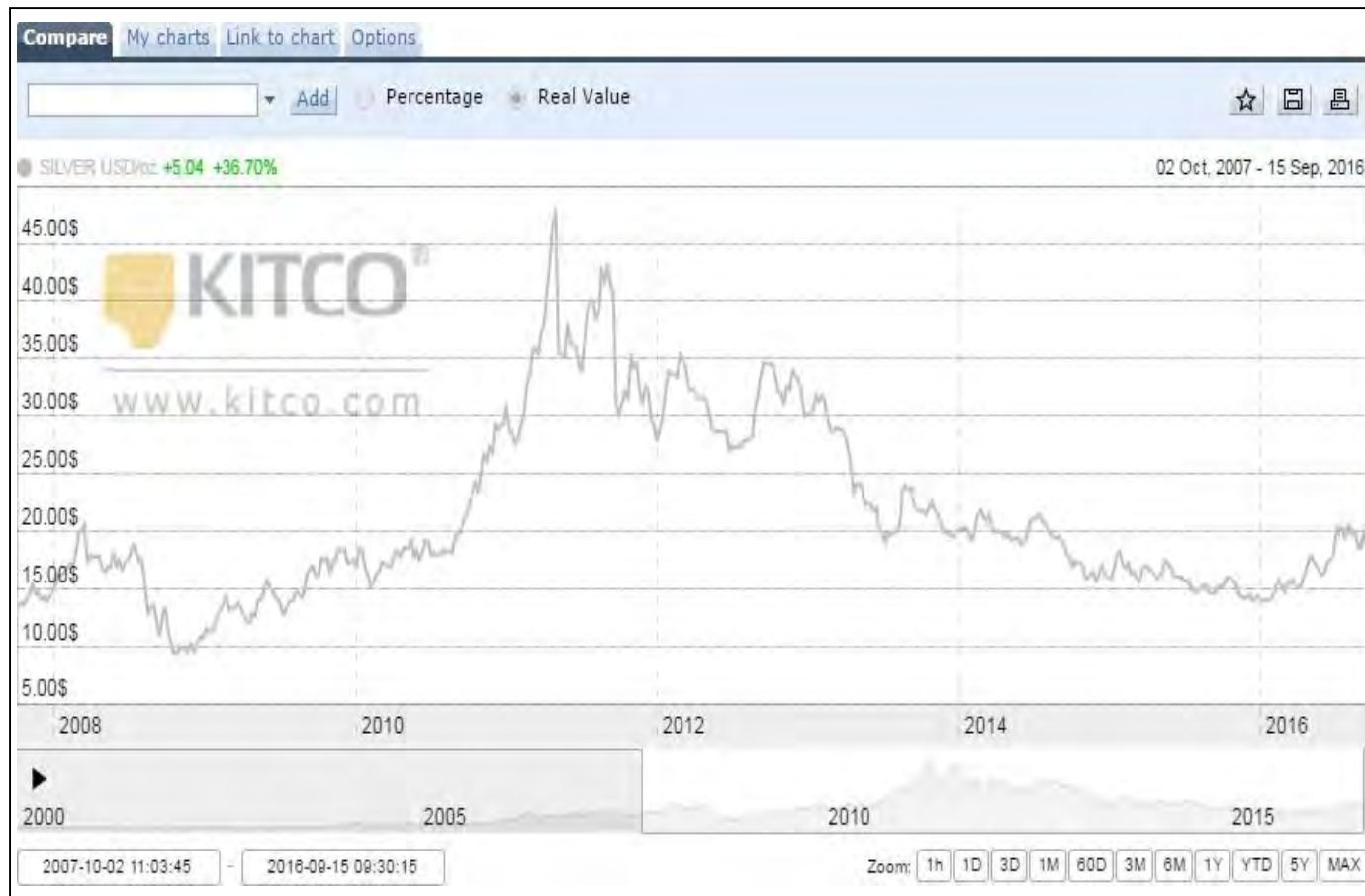


Tabla 7: Precio de la plata en los últimos 15 años

AÑO	AG (\$/oz)
2019	16.23
2018	15.55
2017	17.12
2016	17.29
2015	15.28
2014	18.67
2013	23.18
2012	31.19
2011	36.00
2010	21.15
2009	14.91
2008	14.90
2007	13.78
2006	11.67
2005	7.53
<b>PROMEDIO</b>	<b>18.30</b>

Figura 40. Variación del precio de la plata en los últimos 15 años. Nota. Tomado de <http://www.kitcometals.com>

Tabla 8. *Parámetros de diseño I*

PRECIO		VALOR UNITARIO	
Au (\$/oz)	Ag (\$/oz)	Au (\$/g Au)	Ag (\$/g Ag)
1142.16	18.30	25.70	0.41

Tabla 9. *Parámetros de diseño II*

PESO ESPECIFICO	Mineral (tn/m3)	Desmonte (tn/m3)
	2.6	3

### 12.7. ESTIMACIÓN DE RECURSOS MINERALES

Un recurso mineral representa la ocurrencia o concentración de cierto mineral que mediante distintos estudios se determina si su extracción puede o no aportar un valor económico.

Estos se clasifican en medidos, indicados e inferidos donde la principal diferencia entre ellos es el nivel de confianza en la exploración, lo cual puede variar debido al número de sondajes, trincheras, entre otros.

De acuerdo al tipo de clasificación que se tiene estos pueden llegar a constituir reservas probables o probadas

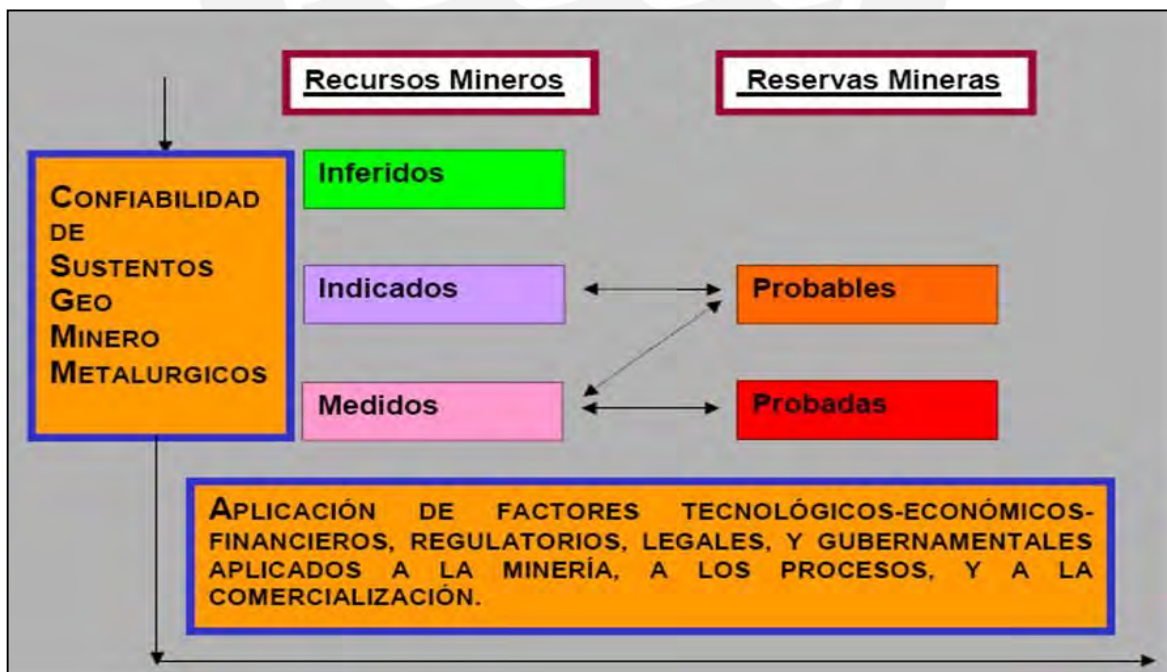


Figura 41. Recursos y reservas según el código JORC 2012

Para el cálculo de recursos minerales primero se determina el error de muestreo y ensayo.

Tabla 10. *Errores de muestreo y ensaye*

<b>Error de Muestreo</b>	<b>2.00%</b>
<b>Error de Ensaye</b>	<b>2.50%</b>
<b>Error Total</b>	<b>4.50%</b>

Posteriormente el cálculo de recursos minerales se realizó mediante la creación de una tabla dinámica a fin de filtrar todos los valores de la base de datos proporcionada.

Tabla 11. *Resumen de los Recursos Minerales*

<b>TIPO DE RECURSO</b>	<b>TONELAJE</b>	<b>LEYES</b>		<b>LEY EQAG</b>		<b>VPT</b>
	<b>(t)</b>	<b>Au (g/t)</b>	<b>Ag (g/t)</b>	<b>(g/t)</b>	<b>(oz/t)</b>	<b>(US\$/t)</b>
<b>MEDIDOS</b>	38,437	5.1	266.19	584.58	18.79	240.70
<b>INDICADOS</b>	1,004,703	3.01	176.53	364.44	11.72	150.06
<b>INFERIDOS</b>	1,222,253	1.61	86.26	186.76	6.00	76.90
<b>TOTAL GENERAL</b>	<b>2,265,393</b>	<b>2.29</b>	<b>129.35</b>	<b>272.31</b>	<b>8.76</b>	<b>112.12</b>

El propósito de esta etapa es asignar un valor económico a cada uno de los bloques que conforman el archivo tridimensional de recursos. En el procedimiento de valorización, es preciso definir una estructura de precios y costos relevantes conjuntamente con una ley de corte crítica de diseño, la cual permitirá separar lo que es desmonte y lo que es mineral.

CUT OFF	RECURSOS TOTALES	RECURSOS MEDIDOS	RECURSOS INDICADOS	RECURSOS INFERIDOS	POTENCIA PROMEDIO	LEYES IN SITU CORREGIDAS		LEY EQ AG - IN SITU		VPT IN SITU
						Au (g/t)	Ag (g/t)	(g/t)	(oz/t)	
(US\$/t)	(t)	(t)	(t)	(t)	(m)					(US\$/t)
<b>0</b>	2,265,393	38,437	1,004,703	1,222,253	7.71	2.29	129.35	272.31	8.76	112.12
<b>20</b>	1,715,787	37,410	881,343	797,034	7.78	2.87	133.65	312.82	10.06	128.80
<b>40</b>	1,353,389	35,830	788,511	529,048	7.99	3.21	145.99	346.39	11.14	142.62
<b>60</b>	1,038,901	33,668	733,428	271,805	8.09	3.58	166.45	389.95	12.54	160.56
<b>80</b>	784,288	33,023	547,525	203,740	8.1	4.13	204.62	462.45	14.87	190.41
<b>100</b>	578,332	31,649	384,660	162,023	8.08	4.60	229.63	516.80	16.62	212.79

Tabla 12. Recursos minerales in situ de acuerdo a la ley de corte

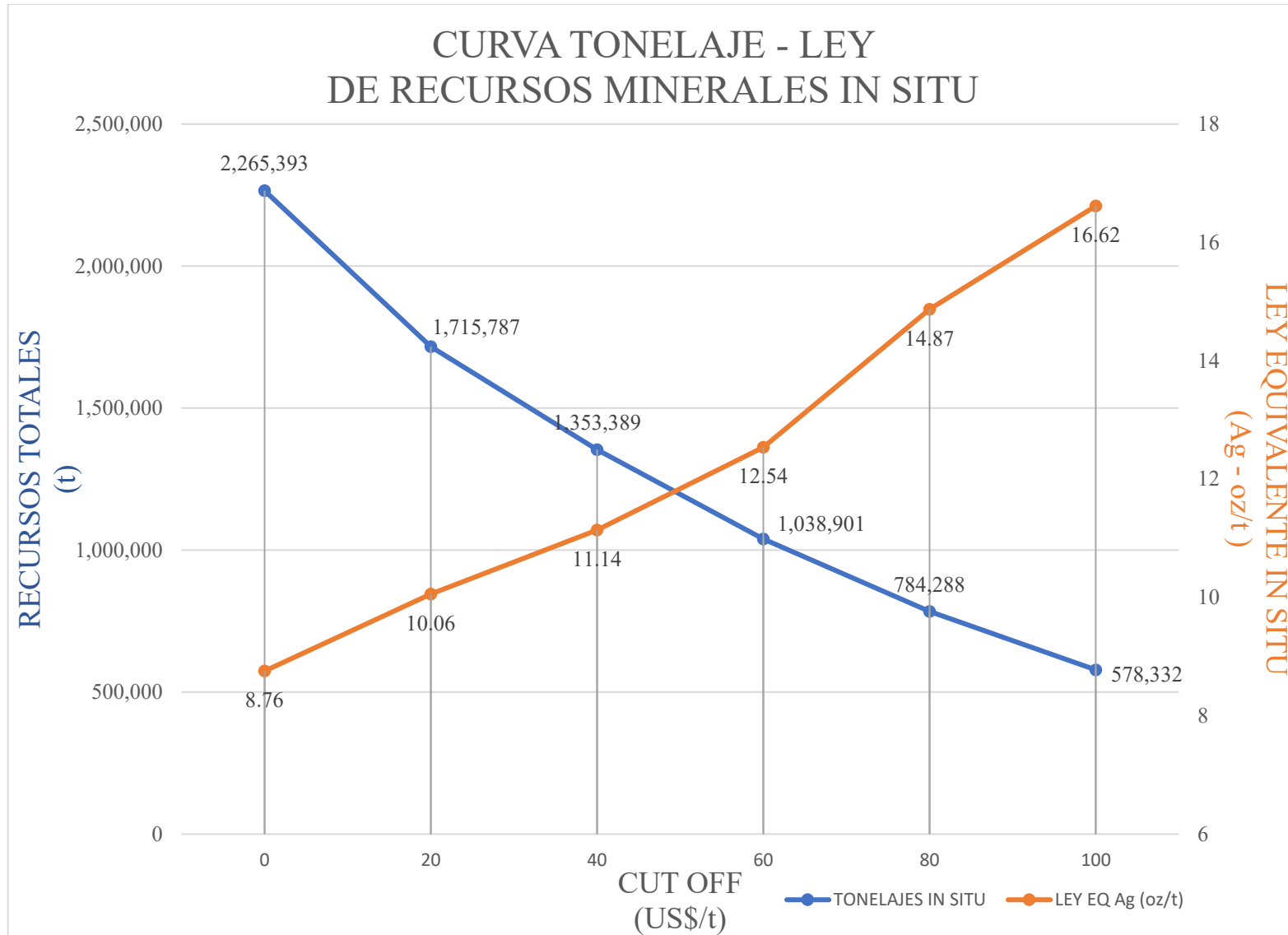


Figura 42. Curva Tonelaje - Ley de Recursos Minerales In Situ

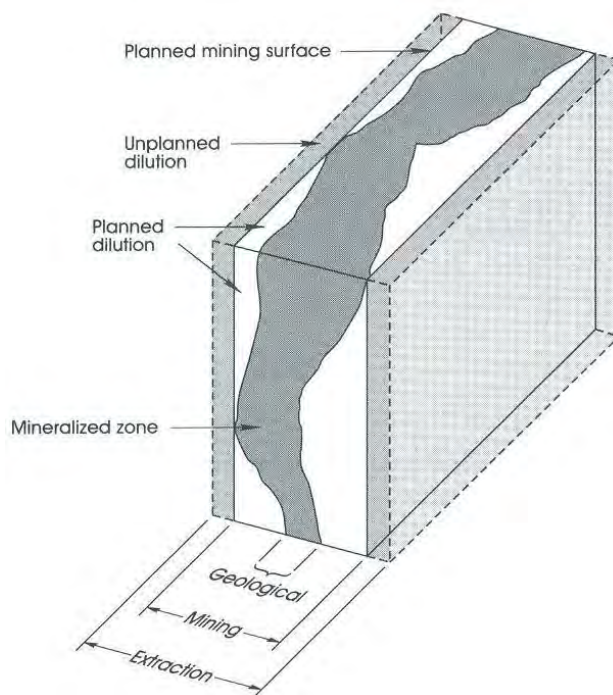
## 12.8. ESTIMACIÓN DE RECURSOS DILUIDOS

Para determinar el tonelaje de los recursos diluidos primero se determina el porcentaje de dilución en base a la fórmula de O'Hara:

$$\% Dil = \frac{K}{\sqrt{A.V} \times \text{Sen} (Buz)}$$

Donde:

- A.V = ancho de veta ( m)
- Buz = buzamiento veta ( grados sexagesimales 0°-90°)
- K = factor que depende del método de minado, debe ajustarse de acuerdo a los resultados operativos reales obtenidos en cada experiencia.
  - K = 25 (Corte y relleno ascendente)
  - K = 33 (Cámaras y pilares)
  - K = 55 (Taladros largos)



Se debe tener en cuenta que tanto los tonelajes y las leyes diluidas pasaran a ser evaluada económicamente.

Con la potencia dilución se puede determinar la cantidad de desmonte que generará un efecto de dilución en los recursos minerales.

Asimismo, para estimar tanto los recursos y reservas minerales se debe considerar la Recuperación de Mina, de acuerdo al método de explotación seleccionado:

Corte y Relleno: 95%, Shrinkage: 93%, Taladros Largos: 90% y Cámaras y Pilares: 80%.

## 12.9. TRADE OFF DE MÉTODO DE MINADO

METODO DE MINADO		A	B	Unidades
		CORTE Y RELLENO	TALADROS LARGOS	
Recursos Minerales				
	Toneladas	1,043,140	1,043,140	t
QA/QC				
	Error de Muestro y Ensaye	4.50	4.50	%
Leyes Originales				
	Ag	188.31	188.31	g/t
	Au	3.23	3.23	g/t
Leyes Corregidas				
	Ag	179.83	179.83	g/t
	Au	3.08	3.08	g/t
Dilución				
	K	25.00	55.00	
	Potencia mineral	7.71	7.71	m
	Buzamiento	70.00	70.00	°
		1.22	1.22	rad
	% Dilución	9.58	21.08	%
	Potencia desmote	0.82	2.06	m
	Potencia diluida	8.53	9.77	m
	Ancho de minado	9.07	10.40	m
Ley Diluida	Ag	160.24	137.47	g/t
	Au	2.75	2.35	%
VPT	Ag	65.98	56.60	US\$/t
	Au	70.56	60.54	US\$/t
	Total	136.54	117.14	US\$/t
Desmote				
	Toneladas	127,543.85	321,475.24	t
Tonelaje Total				
	Mineral + Desmote	1,170,683.85	1,364,615.24	t
	Recuperación	95.00	90.00	%
	Tonelaje Minado	1,112,149.66	1,228,153.71	t
	Tonelaje Minado	1,113,000.00	1,230,000.00	t
Taylor	Producción anual	171,333.14	184,671.06	tpa
	Producción mensual	14,277.76	15,389.25	tpm
		15,000.00	16,000.00	
TM	Producción diaria	475.93	512.98	tpd
TC	Producción diaria	523.52	564.27	stpd
		530.00	570.00	stpd
Costo Operativos	OPEX	44.12	13.29	US\$/t
Inversión	CAPEX	20.24	40.36	US\$/t
	Margen Económico	<b>72.17</b>	<b>63.49</b>	US\$/t
Taylor	Vida de la mina	6.50	6.66	años
		7.00	7.00	años

**CONCLUSIÓN: SE ELIGE EL MÉTODO CORTE Y RELLENO POR CONDICIONES GEOMECÁNICAS ROCA MEDIA (RMR=45) Y SE TIENE MAYOR MARGEN ECONÓMICO.**

CUT OFF	RECURSOS (MEDIDO + INDICADO)	DESMONTE TOTAL	TONELAJE (MINERAL + DESMONTE)	RECUPERACIÓN MINA	TONELAJE MINADO	LEYES DILUIDAS		LEY EQ AG DILUIDA		VPT DILUIDO
						Au (g/t)	Ag (g/t)	(g/t)	(oz/t)	
(US\$/t)	(t)	(t)	(t)	(%)	(t)					(US\$/t)
<b>0</b>	1,043,140	127,544	1,170,684	95%	1,112,150	2.75	160.24	331.62	10.66	136.54
<b>20</b>	918,753	112,335	1,031,088	95%	979,534	2.86	165.10	343.65	11.05	141.50
<b>40</b>	824,341	100,791	925,132	95%	878,876	2.99	170.50	357.16	11.48	147.06
<b>60</b>	767,096	93,792	860,888	95%	817,844	3.10	174.60	368.13	11.84	151.58
<b>80</b>	580,548	83,210	663,758	95%	630,570	3.56	215.00	437.25	14.06	180.04
<b>100</b>	416,309	50,902	467,211	95%	443,850	4.10	235.00	490.89	15.78	202.12

Tabla 13. Recursos minerales diluidos de acuerdo a la ley de corte

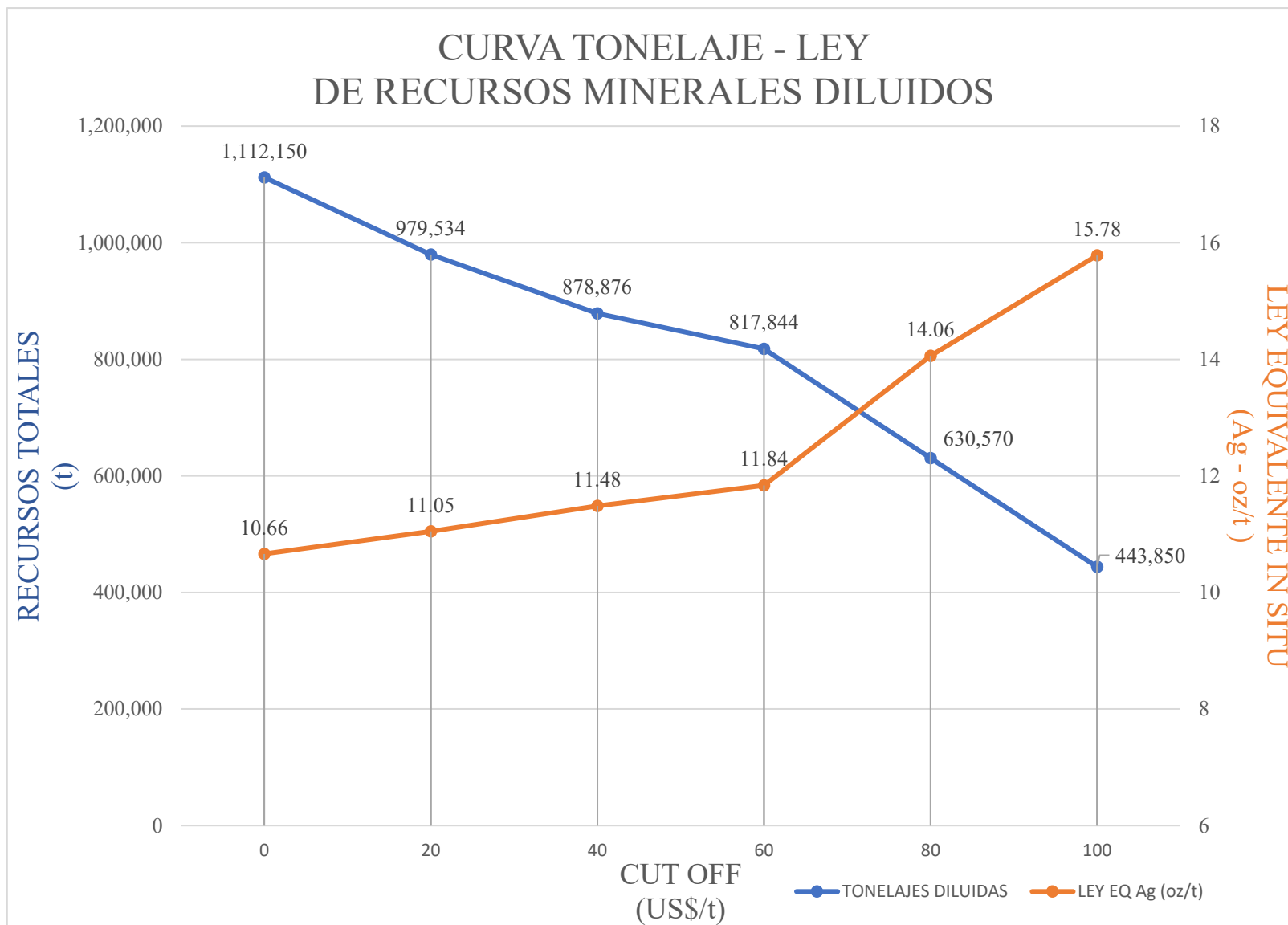


Figura 43. Curva Tonelaje - Ley de Recursos Minerales Diluidos

## 12.10. BREAK EVEN CUT OFF (BECOFF)

Valores de corte equilibrio determinado para las vetas, en donde incluye los costos totales de explotación, procesamiento, generales, administrativos y de comercialización.

$$\text{Becoff} = \text{Costo Variable (Mina + Planta)} + \text{Costo Generales} + \text{Costo Administrativos} + \text{Costo Comercialización}$$

$$\text{Becoff} = 152.30 \text{ US\$/t}$$

## 12.11. ESTIMACIÓN DE RESERVAS MINERALES

Las reservas minerales son todos aquellos recursos minerales que mediante un estudio técnico, económico y social pueden ser explotados generando rentabilidad para la empresa. Se clasifican en reservas probadas y reservas probables.



*Figura 44.* Clasificación del material mineralizado

El cálculo de las reservas minerales se realizó mediante hojas de cálculo relacionando conceptos de dilución y leyes, y determinando que recursos pueden ser reservas de acuerdo al Becoff.

Tabla 14. Evaluación de recursos que pasan a reservas

CUT OFF (US\$/t)	TONELAJE MINADO (t)	VPT (US\$/t)	LEY EQ AG (oz/t)	MARGEN ECONÓMICO	¿ES RESERVA?
0	1,112,150	136.54	10.66	-15.76	NO
20	979,534	141.50	11.05	-10.80	NO
40	878,876	147.06	11.48	-5.24	NO
60	817,844	151.58	11.84	-0.72	NO
80	630,570	180.04	14.06	27.74	SI
100	443,850	202.12	15.78	49.82	SI

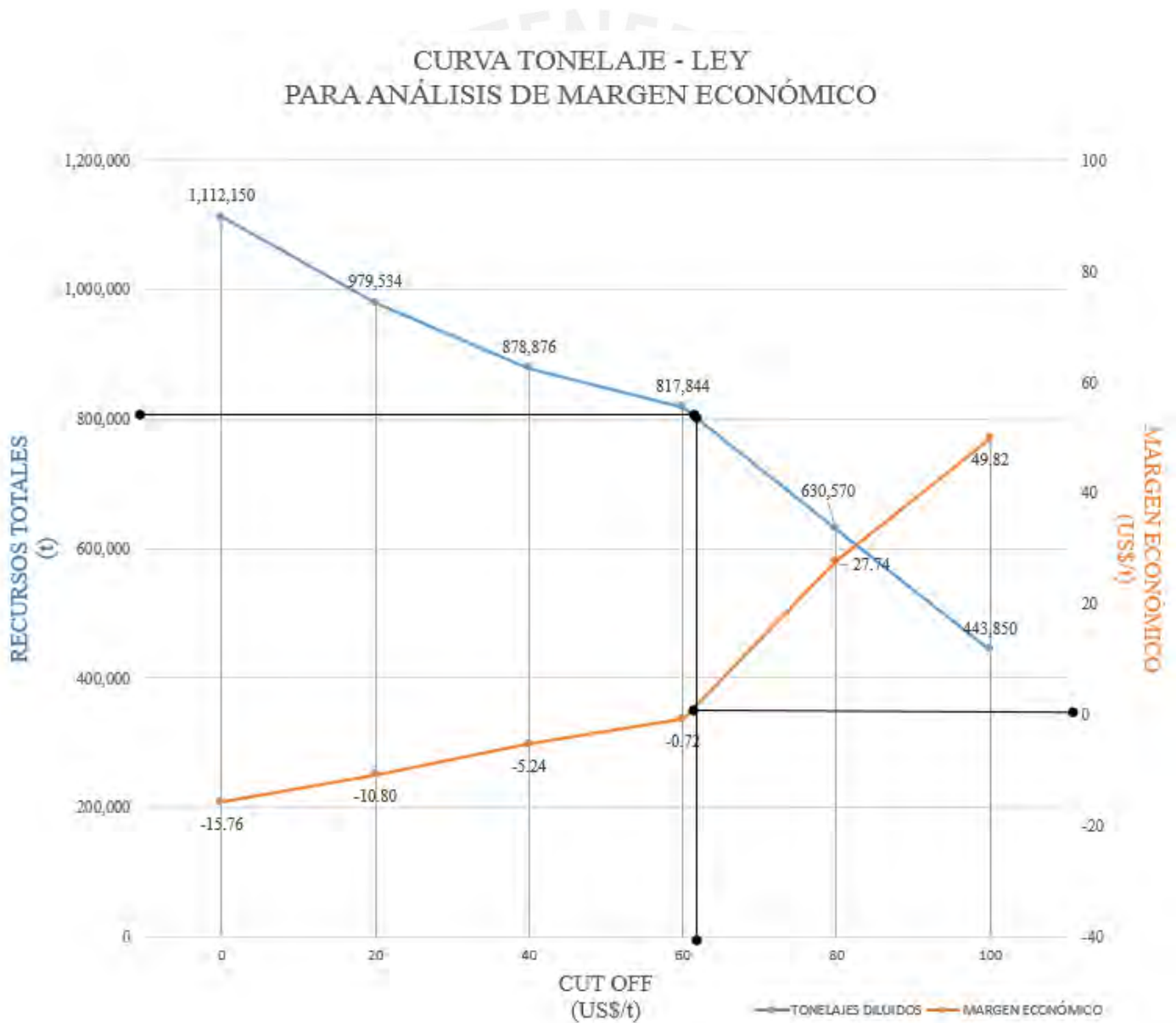


Figura 45. Curva Tonelaje – Ley para selección de Reservas Minerales

### CURVA TONELAJE - LEY DE RESERVAS MINERALES

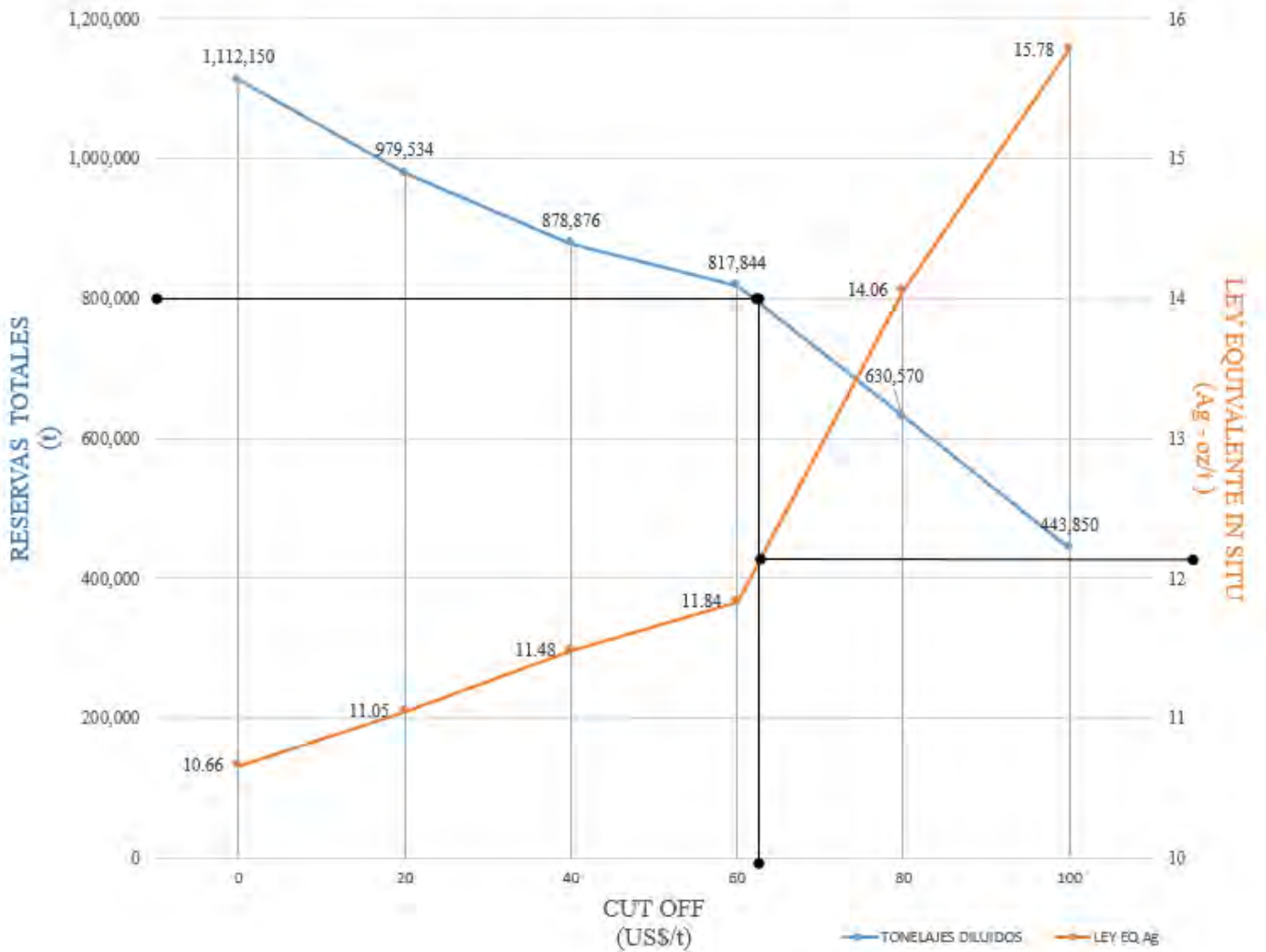
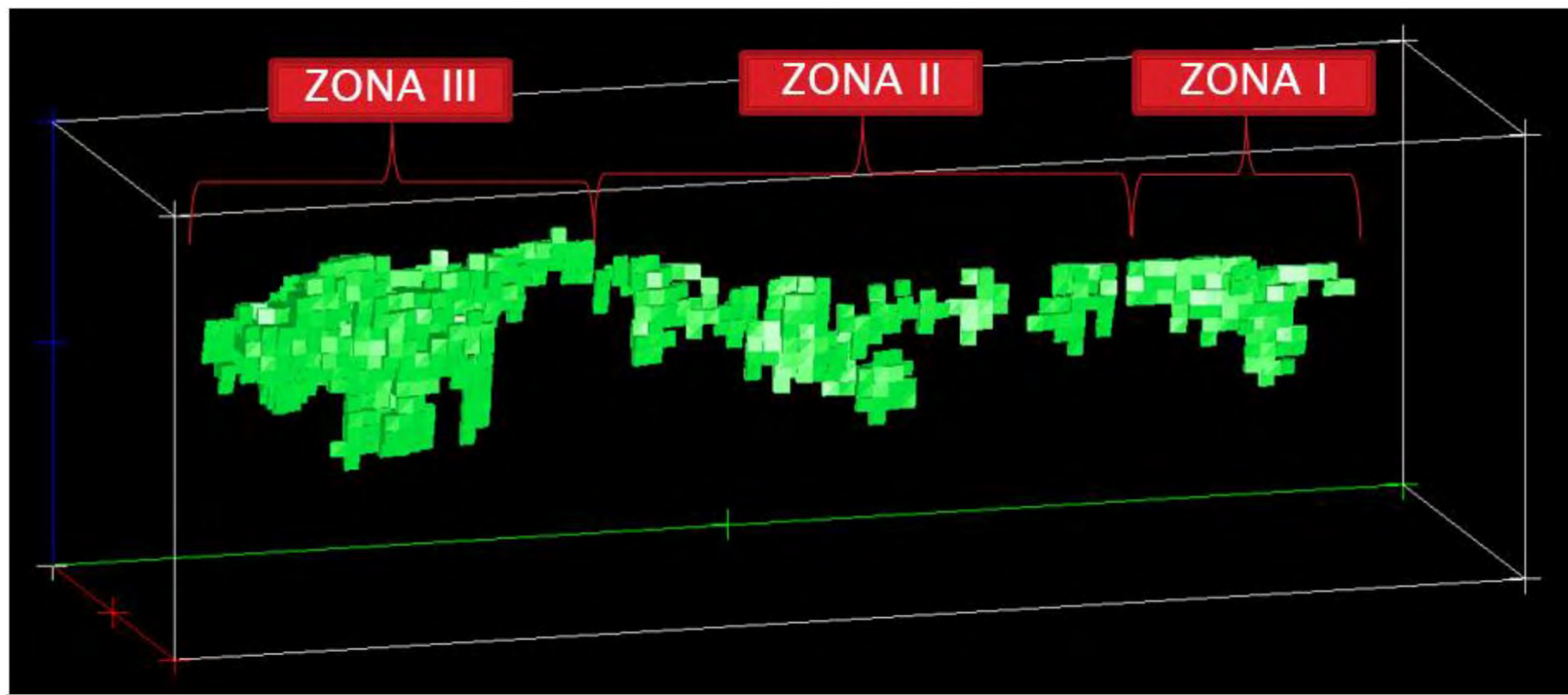


Figura 46. Curva Tonelaje – Ley de Reservas Minerales

RESERVAS TOTALES			
CUT OFF	Tonelaje	Ley Ag Equivalente	
(US\$/t)	(t)	(g/t)	(oz/t)
<b>63.15</b>	800,000	379.15	12.19

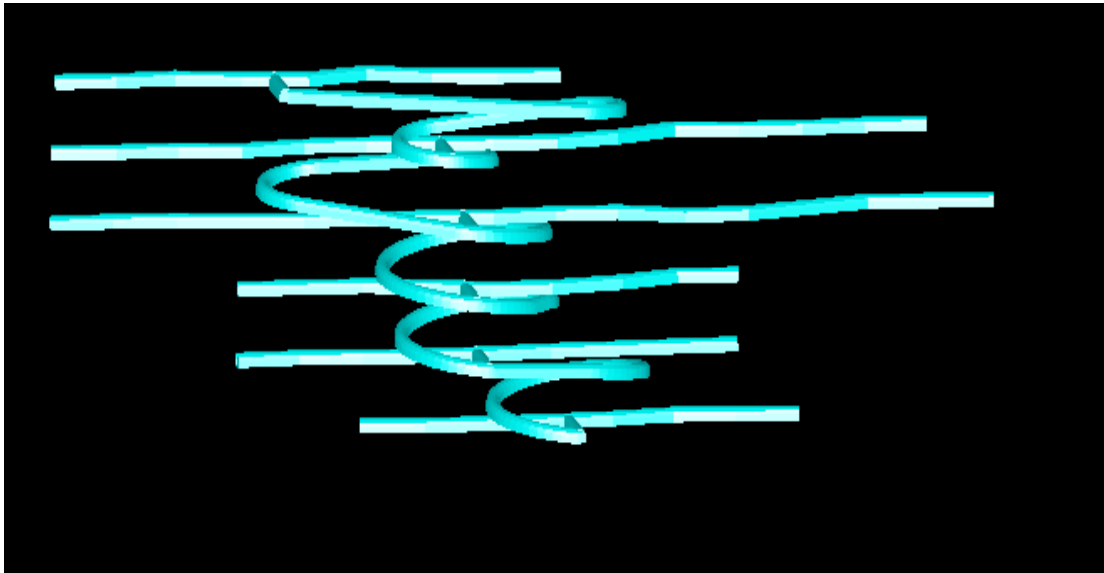
Tabla 15. Reservas Minerales Totales

**12.12. DISEÑO DE LOS TAJEOS OPTIMIZADOS CON EL SOFTWARE MINESIGHT TAJEOS OPTIMIZADOS  
A CUT OFF 63.15 US\$/TN**



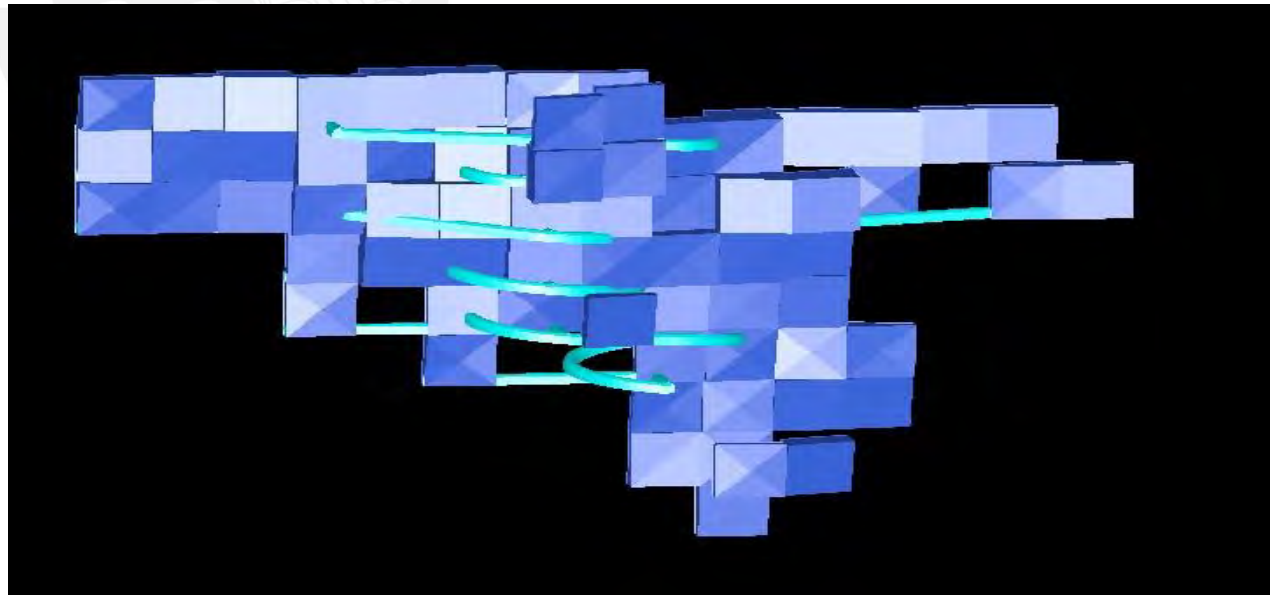
*Figura 47. Zonificación del cuerpo mineralizado en 3D*

### 12.12.1. DISEÑO 3D DE INFRAESTRUCTURA DE ZONA I

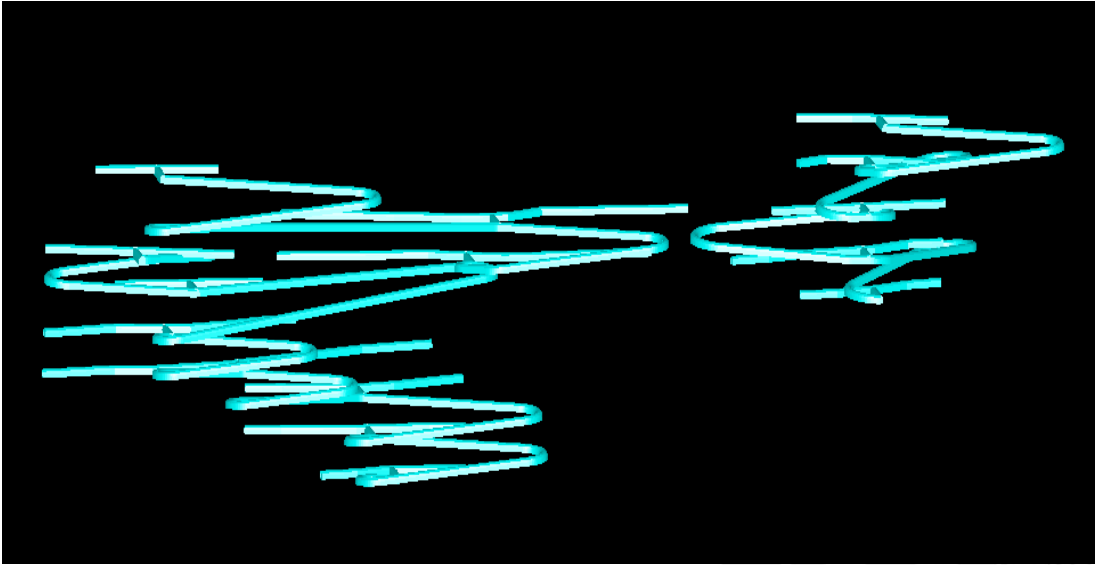


*Figura 48.* Diseño de preparación y desarrollo de labores para minado de Zona I

*Figura 49.* Diseño final 3D el plan de avances y de minado Zona I

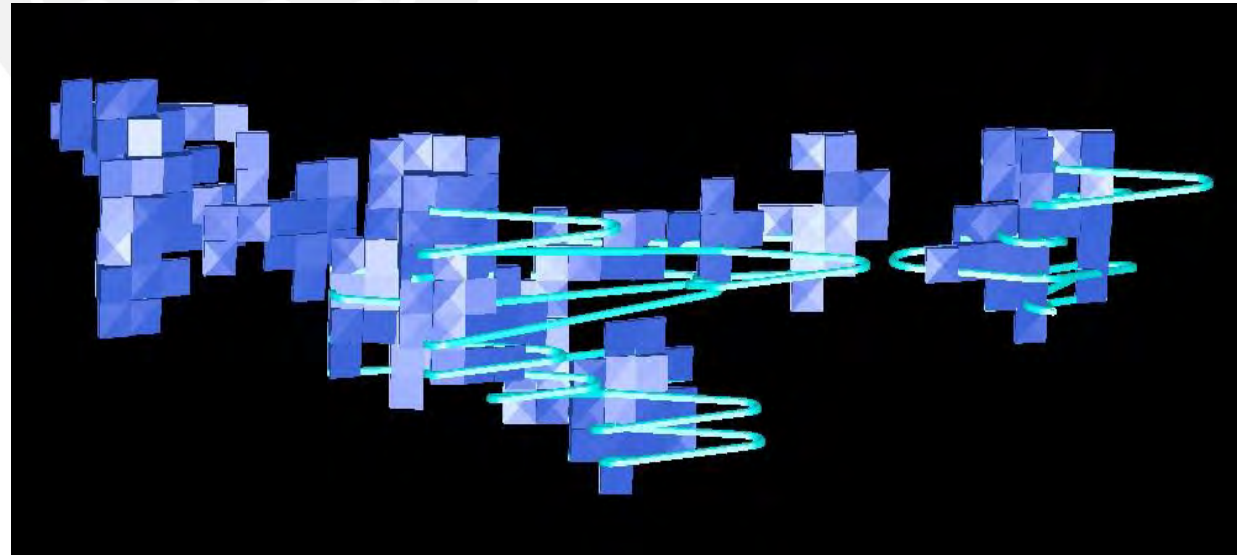


### 12.12.2. DISEÑO 3D DE INFRAESTRUCTURA DE ZONA II

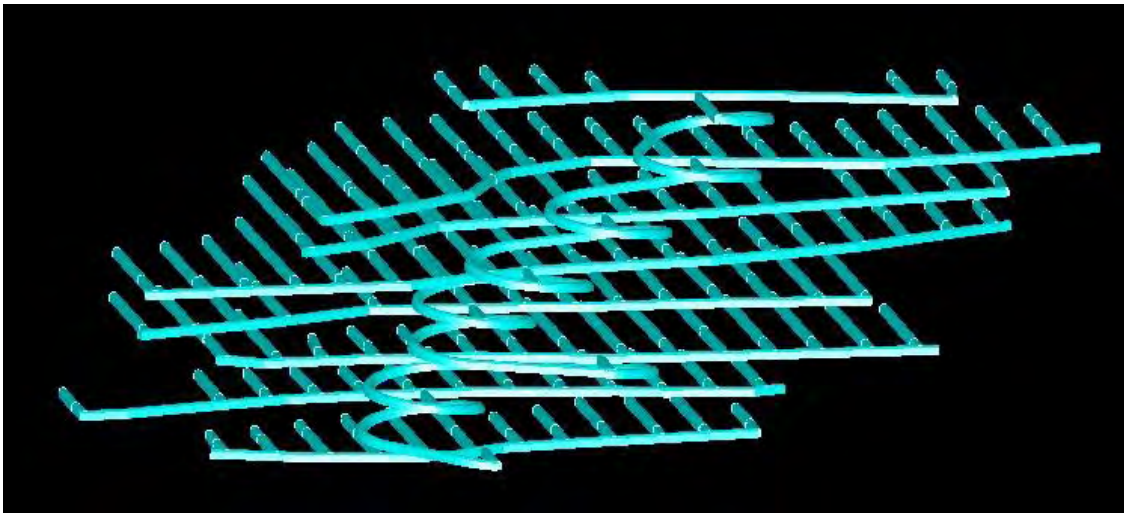


*Figura 50.* Diseño de preparación y desarrollo de labores para minado de Zona II

*Figura 51.* Diseño final 3D del plan de avances y de minado Zona II

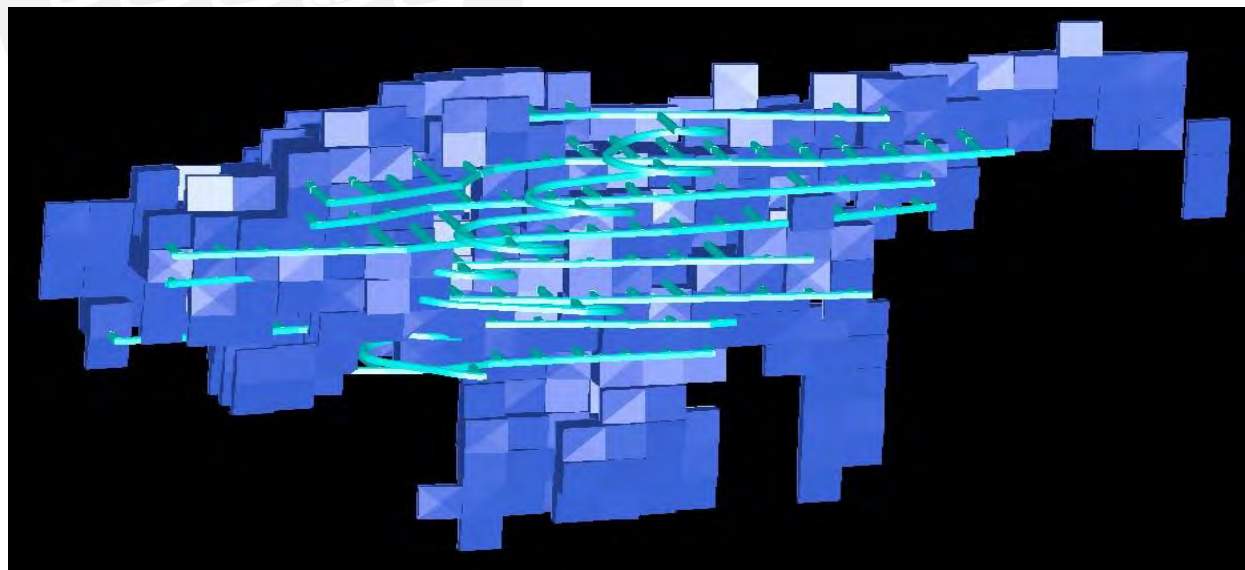


### 12.12.3. DISEÑO 3D DE INFRAESTRUCTURA ZONA III

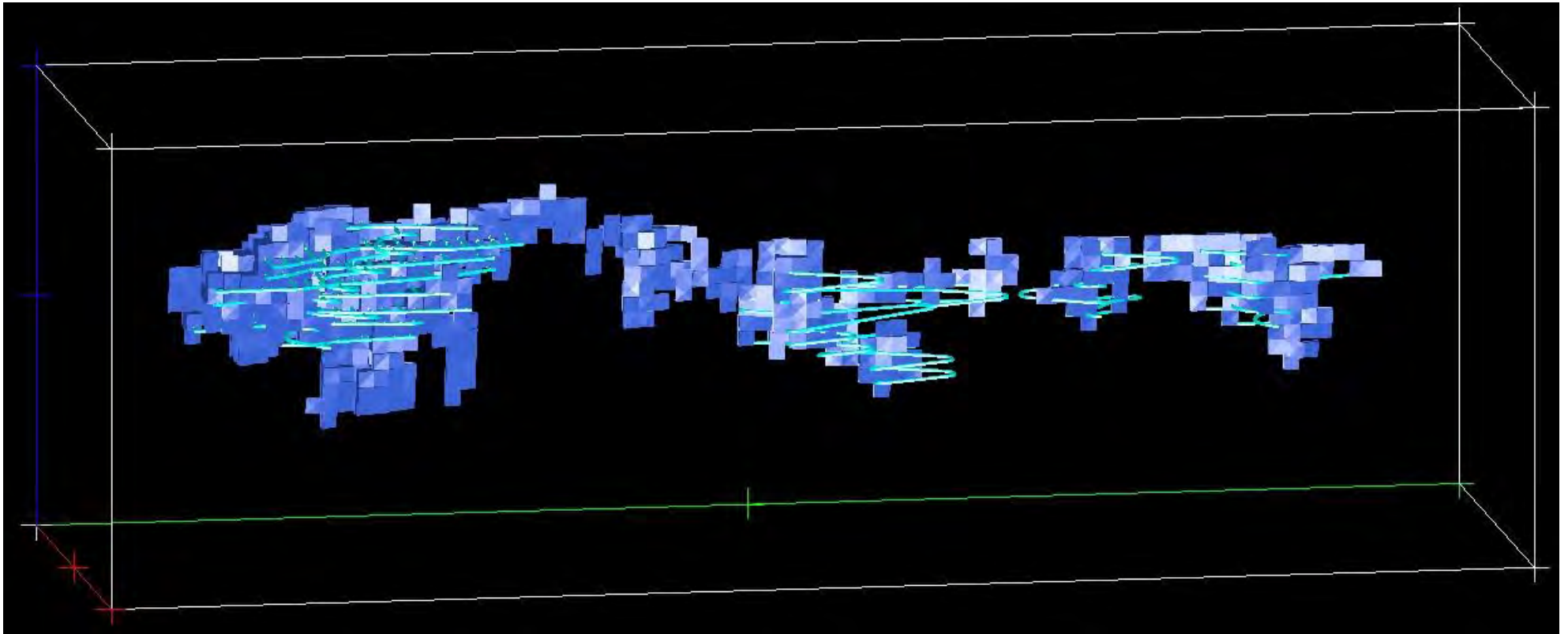


*Figura 52.* Diseño de preparación y desarrollo de labores para minado de Zona III

*Figura 53.* Diseño final 3D del plan de avances y de minado Zona III



#### 12.12.4. DISEÑO FINAL 3D DE LOS TAJEOS OPTIMIZADOS A CUT OFF 63.15 US\$/T



*Figura 54.* Diseño final 3D de infraestructura de la Veta Odiseo

### 13. EVALUACIÓN ECONÓMICA DEL PROYECTO

#### 13.1. CASO N° 1: MODELO BREAK-EVEN – ENFOQUE TRADICIONAL

Para ambos casos donde el metal principal es el Ag se tiene los siguientes datos:

Tabla 16. *Parámetros para la valorización – Enfoque Tradicional*

Precio Ag (\$/Oz)	Costos producción (\$/TM)	Tasa de descuento (k)	Reservas ( TM )
18.30	63.15	10%	800,000

Del Minesight del Economic Planner con su herramienta de planificación *MSVALP* se obtuvo un Constant Cut-Off del Modelo Break-Even que para este caso resulto una Ley Equivalente de Ag 14.68 Oz/TM, con este dato se procede con la evaluación económica al nivel de antes de impuesto, después de impuesto y de los accionistas.

Tabla 17. *Parámetros Económicos – Enfoque Tradicional*

Parámetros Económicos	LOM							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Ley Ag (oz/TM)	14.68	14.68	14.68	14.68	14.68	14.68	14.68	14.68
Precio Ag (\$/onza)	18.30	18.30	18.30	18.30	18.30	18.30	18.30	18.30
Recuperación Total Ag	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%
Valor Mineral (\$/TM)	188.00	188.00	188.00	188.00	188.00	188.00	188.00	188.00
Programa Producción (miles TM/año)	65	105	105	105	105	105	105	105
Costos producción (\$/TM)	63.15	63.15	63.15	63.15	63.15	63.15	63.15	63.15
Gastos administrativos y ventas (miles \$)	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000

Tabla 18. *Distribución de Inversión del Proyecto – Enfoque Tradicional*

Inversiones (miles US\$)	
Activo Fijo	10,000
Activo Intangible	3,600
Capital Trabajo	2,400
<b>Inversión Total</b>	<b>16,000</b>

Tabla 19. *Depreciación y Valor Residual – Enfoque Tradicional*

Depreciación y Valor Residual (miles US\$)	LOM							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Depreciación Activos Fijos	833.33	833.33	833.33	833.33	833.33	833.33	833.33	833.33
Amortización Activos Intangibles	450.00	450.00	450.00	450.00	450.00	450.00	450.00	450.00
Valor Residual	<b>3333.33</b>							

Tabla 20. *Cálculo del Costo Promedio Ponderado – Enfoque Tradicional*

Cálculo del Costo de Capital Promedio Ponderado		
	Monto	Costo
Deuda	5,000	8%
Aporte	11,000	12%
<b>K</b>	<b>10%</b>	

### 13.1.1. FLUJO DE CAJA LIBRE ANTES DE IMPUESTOS Y PARTICIPACIONES -ENFOQUE TRADICIONAL

Tabla 21. *Flujo de Caja Libre Antes de Impuestos y Participaciones – Enfoque Tradicional (Miles US\$)*

	LOM									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>INGRESOS</b>										
Ventas Mineral		12,220	19,740	19,740	19,740	19,740	19,740	19,740	19,740	
Valor Residual									3,333.33	
Recuperación del Capital Trabajo									2,400	
Total Ingresos		12,220	19,740	19,740	19,740	19,740	19,740	19,740	25,474	
<b>EGRESOS</b>										
Inversiones	16,000									1,600
Costos de producción		4104.75	6630.75	6630.75	6630.75	6630.75	6630.75	6630.75	6630.75	
Gastos administrativos y ventas		3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	
Total Egresos	16,000	7,105	9,631	9,631	9,631	9,631	9,631	9,631	9,631	1,600
<b>SALDO CAJA</b>	-16,000	5,116	10,110	10,110	10,110	10,110	10,110	10,110	15,843	-1,600
VAN (12%)	<b>31,501</b>									
TIR	<b>51%</b>									

### 13.1.2. ESTADO DE RESULTADOS PARA DETERMINACIÓN DE UTILIDADES – ENFOQUE TRADICIONAL

Tabla 22. Estado de Resultados – Enfoque Tradicional (En miles de US\$)

	LOM							
	1	2	3	4	5	6	7	8
<b>VENTAS</b>	12,220	19,740	19,740	19,740	19,740	19,740	19,740	19,740
Valor Residual								3,333
Costos producción	4,105	6,631	6,631	6,631	6,631	6,631	6,631	6,631
Depreciación Activos Fijos	833	833	833	833	833	833	833	833
Amortización Intangibles	450	450	450	450	450	450	450	450
<b>UTILIDAD BRUTA</b>	<b>6,832</b>	<b>11,826</b>	<b>11,826</b>	<b>11,826</b>	<b>11,826</b>	<b>11,826</b>	<b>11,826</b>	<b>15,160</b>
Gastos administrativos y ventas	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000
<b>UTILIDAD OPERATIVA</b>	<b>3,832</b>	<b>8,826</b>	<b>8,826</b>	<b>8,826</b>	<b>8,826</b>	<b>8,826</b>	<b>8,826</b>	<b>12,160</b>
Regalía Minera (3.70%)	142	327	327	327	327	327	327	450
Impuesto Especial a la Minería (3.44%)	132	304	304	304	304	304	304	418
<b>UTILIDAD ANTES DE IMPUESTOS Y PARTICIPACIONES</b>	<b>3,559</b>	<b>8,196</b>	<b>8,196</b>	<b>8,196</b>	<b>8,196</b>	<b>8,196</b>	<b>8,196</b>	<b>11,291</b>
Participación Trabajadores Económico (8%)	285	656	656	656	656	656	656	903
<b>UTILIDAD ANTES DE IMPUESTO A LA RENTA</b>	<b>3,274</b>	<b>7,540</b>	<b>7,540</b>	<b>7,540</b>	<b>7,540</b>	<b>7,540</b>	<b>7,540</b>	<b>10,388</b>
Impuesto Renta (30%)	982	2,262	2,262	2,262	2,262	2,262	2,262	3,116
<b>UTILIDAD NETA</b>	<b>2,292</b>	<b>5,278</b>	<b>5,278</b>	<b>5,278</b>	<b>5,278</b>	<b>5,278</b>	<b>5,278</b>	<b>7,272</b>

### 13.1.3. FLUJO DE CAJA ECONÓMICO DESPUES DE IMPUESTOS Y PARTICIPACIONES -ENFOQUE TRADICIONAL

Tabla 23. *Flujo de Caja Libre Después de Impuestos y Participaciones – Enfoque Tradicional (En miles de US\$)*

	LOM									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>INGRESOS</b>										
Ventas Mineral		12,220	19,740	19,740	19,740	19,740	19,740	19,740	19,740	
Valor Residual									3,333	
Recup. Capital Trabajo									2,400	
Total Ingresos		12,220	19,740	19,740	19,740	19,740	19,740	19,740	25,474	0
<b>EGRESOS</b>										
Inversiones	16,000									1,600
Costos Producción		4,105	6,631	6,631	6,631	6,631	6,631	6,631	6,631	
Gastos administrativos y ventas		3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	
Regalía Minera		142	327	327	327	327	327	327	450	
Imp. Especial Minería		132	304	304	304	304	304	304	418	
Participación Trabajadores Económico		285	656	656	656	656	656	656	903	
Impuesto Renta Económico		982	2,262	2,262	2,262	2,262	2,262	2,262	3,116	
Total Egresos	16,000	8,645	13,179	13,179	13,179	13,179	13,179	13,179	14,519	1,600
<b>SALDO CAJA</b>	-16,000	3,575	6,562	6,562	6,562	6,562	6,562	6,562	10,955	-1,600
<b>VANE</b>	<b>17,662</b>									
<b>TIRE</b>	<b>33%</b>									

### 13.1.4. RENTABILIDAD FINANCIERA DEL PROYECTO – ENFOQUE TRADICIONAL

Tabla 24. Servicio Deuda del Proyecto – Enfoque Tradicional (En miles de US\$)

SERVICIO DEUDA DEL PROYECTO	LOM								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Amortización		560.36	605.19	653.61	705.89	762.37	823.36	889.22	5,000.00
Intereses	400.00	400.00	355.17	306.76	254.47	198.00	137.01	71.14	2,122.53
Total	400.00	960.36	960.36	960.36	960.36	960.36	960.36	960.36	7,122.53

Tabla 25. Utilidad antes de Impuestos y Participaciones – Enfoque Tradicional (En miles de US\$)

UTILIDAD ANTES DE IMPUESTOS Y PARTICIPACIONES	LOM							
	1	2	3	4	5	6	7	8
UTILIDAD ANTES DE IMPUESTOS Y PARTICIPACIONES	3,559	8,196	8,196	8,196	8,196	8,196	8,196	11,291
Gastos Financieros	400	400	355	307	254	198	137	71
Utilidad antes Participación	3,159	7,796	7,841	7,889	7,942	7,998	8,059	11,220
Participación Trabajadores Financiero	253	624	627	631	635	640	645	898
Utilidad antes renta	2,906	7,172	7,214	7,258	7,306	7,358	7,414	10,323
Impuesto Renta Financiero	872	2,152	2,164	2,177	2,192	2,207	2,224	3,097
Utilidad Neta	2,034	5,021	5,050	5,081	5,114	5,151	5,190	7,226

Tabla 26. Determinación del Escudo Fiscal de Gastos Financieros – Enfoque Tradicional (En miles de US\$)

Determinación del Escudo Fiscal de los Gastos Financieros	LOM							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Impuesto Renta Económico	982	2,262	2,262	2,262	2,262	2,262	2,262	3,116
Escudo Fiscal (GF*T)	120	120	107	92	76	59	41	21
Impuesto Renta Neto Escudo Fiscal	862	2,142	2,156	2,170	2,186	2,203	2,221	3,095
Ajuste por menor pago trabajadores	10	10	9	7	6	5	3	2
<b>Impuesto Renta Financiero</b>	<b>872</b>	<b>2,152</b>	<b>2,164</b>	<b>2,177</b>	<b>2,192</b>	<b>2,207</b>	<b>2,224</b>	<b>3,097</b>

### 13.1.5. FLUJO DE CAJA FINANCIERO DEL ACCIONISTA -ENFOQUE TRADICIONAL

Tabla 27. *Flujo de Caja Financiero del Accionista – Enfoque Tradicional (En miles de US\$)*

	LOM									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>INGRESOS</b>										
Prestamos	5,000									
Ventas		12,220	19,740	19,740	19,740	19,740	19,740	19,740	19,740	
Valor Residual									3,333	
Recuperación del Capital Trabajo									2,400	
Total Ingresos	5,000	12,220	19,740	19,740	19,740	19,740	19,740	19,740	25,474	0
<b>EGRESOS</b>										
Inversiones	16,000									1,600
Costos Producción		4,105	6,631	6,631	6,631	6,631	6,631	6,631	6,631	
Gastos administrativos y ventas		3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	
Amortización deuda		0	560	605	654	706	762	823	889	
Intereses deuda		400	400	355	307	254	198	137	71	
Regalías Mineras		142	327	327	327	327	327	327	450	
Impuesto Especial Minería		132	304	304	304	304	304	304	418	
Participación de Trabajadores		253	624	627	631	635	640	645	898	
Impuesto Renta Financiero		872	2,152	2,164	2,177	2,192	2,207	2,224	3,097	
Total Egresos	16,000	8,903	13,997	14,013	14,030	14,049	14,069	14,090	15,454	1,600
<b>SALDO CAJA</b>	-11,000	3,317	5,744	5,728	5,710	5,692	5,672	5,650	10,020	-1,600
<b>VANF</b>	<b>16,376</b>									
<b>TIRF</b>	<b>43%</b>									

### 13.1.6. RESUMEN ECONÓMICO CON MODELO BREAK-EVEN – ENFOQUE TRADICIONAL

Tabla 28. *Resumen Económico con Modelo Break-Even – Enfoque Tradicional*

RESUMEN PROYECTO				
	INVERSIÓN (En miles de US\$)	VAN (En miles de US\$)	TIR	K
SIN IMPUE.	16,000	31,501	51%	12.00%
PROYECTO	16,000	17,662	33%	10.00%
ACCIONISTA	11,000	16,376	43%	12.00%
BANCO	5,000	1,286	8%	

### 13.2. CASO N° 2: MODELO LANE & HEURÍSTICO – ENFOQUE MODERNO

Para ambos casos donde el metal principal es el Ag se tiene los siguientes datos:

Tabla 29. *Parámetros para la valorización – Enfoque Moderno*

Precio Ag (\$/Oz)	Costos producción (\$/TM)	Tasa de descuento (k)	Reservas ( TM )
18.30	63.15	10%	800,000

Del Minesight del Economic Planner con su herramienta de planificación *MSVALP* se obtuvo una planificación optimizada, denominada Best Case Schedule, que aplica técnicas de optimización de las leyes de corte y de análisis del VPN, que para este caso resulto las siguientes leyes promedio:

Tabla 30. *Distribución de Leyes Equivalente de Ag Promedio generadas con Economic Planner – Enfoque Moderno*

Año	1	2	3	4	5	6	7	8
Ley Ag Eq (oz/TM)	16.99	16.73	15.88	15.65	15.47	14.68	13.98	13.78

Esta evaluación encontrará la ley de corte que se debe emplear cada año para maximizar el valor presente neto de la planificación teniendo como parámetro guía el método de Lane y el modelo Heurístico. Este análisis se basa en extraer primero con mayor ley con el fin de aumentar el VPN; caso elegido para representar al modelo Lane y Heurístico.

Tabla 31. *Parámetros Económicos – Enfoque Moderno*

Parámetros Económicos	LOM							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Ley Ag (oz/TM)	16.99	16.73	15.88	15.65	15.47	14.68	13.98	13.78
Precio Ag (\$/onza)	18.30	18.30	18.30	18.30	18.30	18.30	18.30	18.30
Recuperación Total Ag	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%
Valor Mineral (\$/TM)	217.59	214.26	203.37	200.43	198.12	188.00	179.04	176.48
Programa Producción (miles TM/año)	65	105	105	105	105	105	105	105
Costos producción (\$/TM)	63.15	63.15	63.15	63.15	63.15	63.15	63.15	63.15
Gastos administrativos y ventas (miles \$)	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000

Tabla 32. *Distribución de Inversión del Proyecto – Enfoque Moderno*

Inversiones (miles US\$)	
Activo Fijo	10,000
Activo Intangible	3,600
Capital Trabajo	2,400
<b>Inversión Total</b>	<b>16,000</b>

Tabla 33. *Depreciación y Valor Residual – Enfoque Moderno*

Depreciación y Valor Residual (miles US\$)	LOM							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Depreciación Activos Fijos	833.33	833.33	833.33	833.33	833.33	833.33	833.33	833.33
Amortización Activos Intangibles	450.00	450.00	450.00	450.00	450.00	450.00	450.00	450.00
Valor Residual	3,333.33							

Tabla 34. *Cálculo del Costo Promedio Ponderado – Enfoque Moderno*

Cálculo del Costo de Capital Promedio Ponderado		
	Monto	Costo
Deuda	5,000	8%
Aporte	11,000	12%
<b>K</b>	<b>10%</b>	

### 13.2.1. FLUJO DE CAJA LIBRE ANTES DE IMPUESTOS Y PARTICIPACIONES -ENFOQUE MODERNO

Tabla 35. *Flujo de Caja Libre Antes de Impuestos y Participaciones – Enfoque Moderno (Miles US\$)*

	LOM									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>INGRESOS</b>										
Ventas Mineral		14,143	22,497	21,354	21,045	20,803	19,740	18,799	18,530	
Valor Residual									3,333.33	
Recuperación del Capital Trabajo									2,400	
Total Ingresos		14,143	22,497	21,354	21,045	20,803	19,740	18,799	24,264	
<b>EGRESOS</b>										
Inversiones	16,000									1,600
Costos de producción		4104.75	6630.75	6630.75	6630.75	6630.75	6630.75	6630.75	6630.75	
Gastos administrativos y ventas		3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	
Total Egresos	16,000	7,105	9,631	9,631	9,631	9,631	9,631	9,631	9,631	1,600
<b>SALDO CAJA</b>	-16,000	7,038	12,866	11,723	11,414	11,172	10,110	9,168	14,633	-1,600
VAN (12%)	<b>37,081</b>									
TIR	<b>61%</b>									

### 13.2.2. ESTADO DE RESULTADOS PARA DETERMINACIÓN DE UTILIDADES – ENFOQUE MODERNO

Tabla 36. Estado de Resultados – Enfoque Moderno (En miles de US\$)

	LOM							
	1	2	3	4	5	6	7	8
<b>VENTAS</b>	14,143	22,497	21,354	21,045	20,803	19,740	18,799	18,530
Valor Residual								3,333
Costos producción	4,105	6,631	6,631	6,631	6,631	6,631	6,631	6,631
Depreciación Activos Fijos	833	833	833	833	833	833	833	833
Amortización Intangibles	450	450	450	450	450	450	450	450
<b>UTILIDAD BRUTA</b>	8,755	14,583	13,440	13,131	12,889	11,826	10,885	13,949
Gastos administrativos y ventas	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000
<b>UTILIDAD OPERATIVA</b>	5,755	11,583	10,440	10,131	9,889	8,826	7,885	10,949
Regalía Minera (3.70%)	213	429	386	375	366	327	292	405
Impuesto Especial a la Minería (3.44%)	198	398	359	348	340	304	271	377
<b>UTILIDAD ANTES DE IMPUESTOS Y PARTICIPACIONES</b>	5,344	10,756	9,695	9,407	9,183	8,196	7,322	10,168
Participación Trabajadores Económico (8%)	428	860	776	753	735	656	586	813
<b>UTILIDAD ANTES DE IMPUESTO A LA RENTA</b>	4,917	9,895	8,919	8,655	8,448	7,540	6,736	9,354
Impuesto Renta (30%)	<b>1,475</b>	<b>2,969</b>	<b>2,676</b>	<b>2,596</b>	<b>2,534</b>	<b>2,262</b>	<b>2,021</b>	<b>2,806</b>
<b>UTILIDAD NETA</b>	3,442	6,927	6,243	6,058	5,914	5,278	4,715	6,548

### 13.2.3. FLUJO DE CAJA ECONÓMICO DESPUES DE IMPUESTOS Y PARTICIPACIONES -ENFOQUE MODERNO

Tabla 37. *Flujo de Caja Libre Después de Impuestos y Participaciones – Enfoque Moderno (En miles de US\$)*

	LOM									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>INGRESOS</b>										
Ventas Mineral		14,143	22,497	21,354	21,045	20,803	19,740	18,799	18,530	
Valor Residual									3,333	
Recup. Capital Trabajo									2,400	
Total Ingresos		14,143	22,497	21,354	21,045	20,803	19,740	18,799	24,264	
<b>EGRESOS</b>										
Inversiones	16,000									1,600
Costos Producción		4,105	6,631	6,631	6,631	6,631	6,631	6,631	6,631	
Gastos administrativos y ventas		3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	
Regalía Minera		213	429	386	375	366	327	292	405	
Imp. Especial Minería		198	398	359	348	340	304	271	377	
Participación Trabajadores Económico		428	860	776	753	735	656	586	813	
Impuesto Renta Económico		1,475	2,969	2,676	2,596	2,534	2,262	2,021	2,806	
Total Egresos	16,000	9,418	14,287	13,827	13,703	13,606	13,179	12,800	14,032	1,600
<b>SALDO CAJA</b>	-16,000	4,725	8,210	7,527	7,342	7,197	6,562	5,999	10,231	-1,600
<b>VANE</b>	<b>21,095</b>									
<b>TIRE</b>	<b>39%</b>									

### 13.2.4. RENTABILIDAD FINANCIERA DEL PROYECTO – ENFOQUE MODERNO

Tabla 38. Servicio Deuda del Proyecto – Enfoque Moderno (En miles de US\$)

Servicio Deuda Proyecto	LOM								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Amortización		560.36	605.19	653.61	705.89	762.37	823.36	889.22	5,000.00
Intereses	400.00	400.00	355.17	306.76	254.47	198.00	137.01	71.14	2,122.53
Total	400.00	960.36	960.36	960.36	960.36	960.36	960.36	960.36	7,122.53

Tabla 39. Utilidad antes de Impuestos y Participaciones – Enfoque Moderno (En miles de US\$)

	LOM							
	1	2	3	4	5	6	7	8
<b>Utilidad antes Impuestos y Participaciones</b>	5,344	10,756	9,695	9,407	9,183	8,196	7,322	10,168
Gastos Financieros	400	400	355	307	254	198	137	71
Utilidad antes Participación	4,944	10,356	9,339	9,101	8,928	7,998	7,185	10,096
Participación Trabajadores Financiero	396	828	747	728	714	640	575	808
Utilidad antes renta	4,549	9,527	8,592	8,373	8,214	7,358	6,610	9,289
<b>Impuesto Renta Financiero</b>	1,365	2,858	2,578	2,512	2,464	2,207	1,983	2,787
Utilidad Neta	3,184	6,669	6,015	5,861	5,750	5,151	4,627	6,502

Tabla 40. Determinación del Escudo Fiscal de los Gastos Financieros – Enfoque Moderno (En miles de US\$)

Determinación del Escudo Fiscal de los Gastos Financieros	LOM							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Impuesto Renta Económico	1,475	2,969	2,676	2,596	2,534	2,262	2,021	2,806
Escudo Fiscal (GF*T)	120	120	107	92	76	59	41	21
Impuesto Renta Neto Escudo Fiscal	1,355	2,849	2,569	2,504	2,458	2,203	1,980	2,785
Ajuste por menor pago trabajadores	10	10	9	7	6	5	3	2
<b>Impuesto Renta Financiero</b>	<b>1,365</b>	<b>2,858</b>	<b>2,578</b>	<b>2,512</b>	<b>2,464</b>	<b>2,207</b>	<b>1,983</b>	<b>2,787</b>

### 13.2.5. FLUJO DE CAJA FINANCIERO DEL ACCIONISTA -ENFOQUE MODERNO

Tabla 41. *Flujo de Caja Financiero del Accionista – Enfoque Moderno (En miles de US\$)*

	LOM									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>INGRESOS</b>										
Prestamos	5,000									
Ventas		14,143	22,497	21,354	21,045	20,803	19,740	18,799	18,530	
Valor Residual									3,333	
Recupero Capital Trabajo									2,400	
Total Ingresos	5,000	14,143	22,497	21,354	21,045	20,803	19,740	18,799	24,264	0
<b>EGRESOS</b>										
Inversiones	16,000									1,600
Costos Producción		4,105	6,631	6,631	6,631	6,631	6,631	6,631	6,631	
Gastos administrativos y ventas		3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	
Amortización deuda		0	560	605	654	706	762	823	889	
Intereses deuda		400	400	355	307	254	198	137	71	
Regalías Mineras		213	429	386	375	366	327	292	405	
Impuesto Especial Minería		198	398	359	348	340	304	271	377	
Participación Trabajadores		396	828	747	728	714	640	575	808	
Impuesto Renta Financiero		1,365	2,858	2,578	2,512	2,464	2,207	1,983	2,787	
Total Egresos	16,000	9,676	15,105	14,661	14,554	14,476	14,069	13,712	14,967	1,600
<b>SALDO CAJA</b>	-11,000	4,467	7,392	6,693	6,491	6,327	5,672	5,087	9,296	-1,600
<b>VANF</b>	<b>19,713</b>									
<b>TIRF</b>	<b>52%</b>									

### 13.2.6. RESUMEN ECONÓMICO CON MODELO LANE & HEURÍSTICO – ENFOQUE MODERNO

Tabla 42. Resumen Económico con Modelo Break-Even – Enfoque Moderno

	RESUMEN PROYECTO			
	INVERSIÓN (En miles de US\$)	VAN (En miles de US\$)	TIR	K
SIN IMPUESTO	16,000	37,081	61%	12.00%
PROYECTO	16,000	21,095	39%	10.00%
ACCIONISTA	11,000	19,713	52%	12.00%
BANCO	5,000	1,383	8%	

## 14. RESULTADOS

De la evaluación económica se tiene el siguiente consolidado:

Tabla 43. Consolidado de Resultados Modelo Tradicional vs Modelo Moderno

FLUJO DE CAJA	INVERSIÓN (En miles de US\$)	MODELO TRADICIONAL		MODELO MODERNO	
		VAN (En miles de US\$)	TIR	VAN (En miles de US\$)	TIR
SIN IMPUE.	16,000	31,501	51%	37,081	61%
PROYECTO	16,000	17,662	33%	21,095	39%
ACCIONISTA	11,000	16,376	43%	19,713	52%
BANCO	5,000	1,286	8%	3,320	8%

De la distribución de ventas a lo largo de la vida de la mina para ambos casos se tiene la siguiente figura:

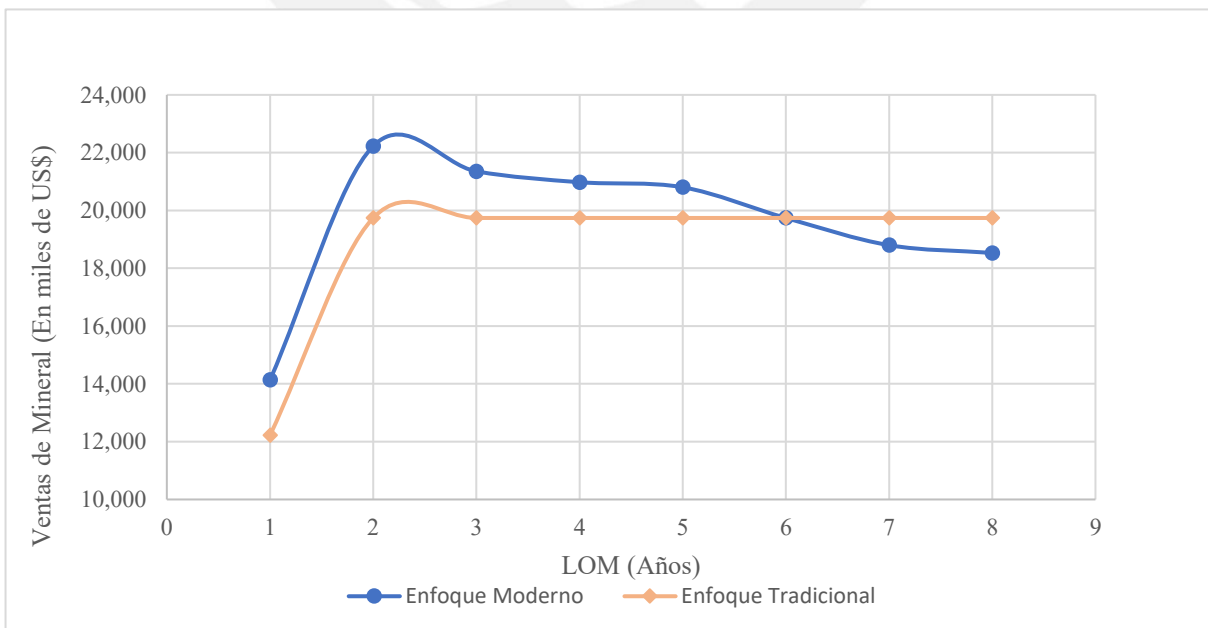


Figura 55. Enfoque Moderno vs Enfoque Tradicional

## 14.1. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD DEL PROYECTO

### 14.1.1. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD DEL VALOR PRESENTE NETO – ENFOQUE TRADICIONAL

Tabla 44. *Análisis de Sensibilidad del VPN - Enfoque Tradicional*

		COSTO DE PRODUCCIÓN (\$/TM)										
		31.58	37.89	44.21	50.52	56.84	63.15	69.47	75.78	82.10	88.41	94.73
PRECIO (\$/OZ)	10.80	3,436	1,458	-520	-2,498	-4,477	-6,455	-8,433	-10,411	-12,389	-14,367	-16,345
	12.00	7,300	5,322	3,344	1,365	-613	-2,591	-4,569	-6,547	-8,525	-10,503	-12,482
	13.34	11,593	9,615	7,637	5,659	3,680	1,702	-276	-2,254	-4,232	-6,210	-8,188
	14.82	16,363	14,385	12,407	10,429	8,451	6,472	4,494	2,516	538	-1,440	-3,418
	16.47	21,663	19,685	17,707	15,729	13,751	11,773	9,795	7,816	5,838	3,860	1,882
	18.30	27,552	25,574	23,596	21,618	19,640	17,662	15,684	13,706	11,727	9,749	7,771
	20.12	33,442	31,463	29,485	27,507	25,529	23,551	21,573	19,595	17,616	15,638	13,660
	22.14	39,920	37,941	35,963	33,985	32,007	30,029	28,051	26,073	24,095	22,116	20,138
	24.35	47,045	45,067	43,089	41,111	39,133	37,155	35,177	33,198	31,220	29,242	27,264
	26.79	54,884	52,906	50,928	48,949	46,971	44,993	43,015	41,037	39,059	37,081	35,102
	29.46	63,506	61,528	59,550	57,572	55,594	53,615	51,637	49,659	47,681	45,703	43,725

### 14.1.2. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD DEL VALOR PRESENTE NETO – ENFOQUE MODERNO

Tabla 45. *Análisis de Sensibilidad del VPN - Enfoque Moderno*

		COSTO DE PRODUCCIÓN (\$/TM)										
		31.58	37.89	44.21	50.52	56.84	63.15	69.47	75.78	82.10	88.41	94.73
PRECIO (\$/OZ)	10.80	5,463	3,485	1,507	-471	-2,449	-4,427	-6,405	-8,383	-10,362	-12,340	-14,318
	12.00	9,553	7,574	5,596	3,618	1,640	-338	-2,316	-4,294	-6,273	-8,251	-10,229
	13.34	14,096	12,118	10,140	8,162	6,184	4,205	2,227	249	-1,729	-3,707	-5,685
	14.82	19,144	17,166	15,188	13,210	11,232	9,254	7,276	5,297	3,319	1,341	-637
	16.47	24,754	22,775	20,797	18,819	16,841	14,863	12,885	10,907	8,929	6,950	4,972
	18.30	30,986	29,008	27,030	25,052	23,074	21,095	19,117	17,139	15,161	13,183	11,205
	20.12	37,219	35,240	33,262	31,284	29,306	27,328	25,350	23,372	21,393	19,415	17,437
	22.14	44,074	42,096	40,118	38,140	36,162	34,184	32,205	30,227	28,249	26,271	24,293
	24.35	51,616	49,637	47,659	45,681	43,703	41,725	39,747	37,769	35,790	33,812	31,834
	26.79	59,911	57,933	55,955	53,977	51,998	50,020	48,042	46,064	44,086	42,108	40,130
29.46	69,036	67,058	65,080	63,102	61,123	59,145	57,167	55,189	53,211	51,233	49,255	

## **15. CONCLUSIONES**

Un tajeo debería ser minado si el valor presente neto (VPN) de los flujos de caja proyectado generados es rentable, es decir, siempre y cuando sea positivo. Los costos y utilidades deberían ser tomados en cuenta, así como cuando estos costos y beneficios son planificados en la rentabilidad esperada a la hora de realizar el plan de minado y deben estar de acuerdo con un grado alto de confiabilidad, para tener una buena reconciliación respecto al avance del proyecto. Aquí se debe incluir los costos de desarrollo y preparación del tajeo (tales como rampas, bypass, chimeneas, cruceros y galerías de acceso); el costo de minado del desmonte, acarreo y transporte; el costo de minado del mineral, acarreo, transporte, y procesamiento; y todos los costos asignados a stockpile, si las hay. Los ingresos incluyen aquellos factores que están dentro de la valorización como las leyes, precio o cotización, recuperaciones (minado, metalúrgica, fundición y refinación según sea el caso) que están dentro del procesamiento de mineral directamente enviado a planta, así como aquellos realizados en una fecha posterior de stockpile.

En el caso de tener no límite de capacidad, todo el mineral que puede generar un flujo de caja positivo, será procesado. Sin embargo, en la optimización del proyecto obligatoriamente existen restricciones de capacidad, como los exigidos por la capacidad del pique y de izaje, ventilación, avances en la preparación y desarrollo, o el método de minado. Estos límites de capacidad crearan un costo de oportunidad distinto a cero y leyes de corte más elevadas. Cuando los límites de capacidad entran en el cálculo, las medidas del mismo tajeo probablemente se reducen, y también habrá tajeos que no serán minados por ya no generar utilidades.

La ley de corte o cut-off grade determina el tonelaje y la ley promedio del mineral procesado y es fundamental para determinar la viabilidad económica de un proyecto respecto de su rentabilidad. Todos los factores tanto endógenos y exógenos de elegir un cut-off grade deben ser tomadas en cuenta, incluyendo técnicas, operativas, económicas, legales, mercado, ambientales, sociales, gubernamentales y políticas.

La optimización de la ley de corte es un proceso iterativo. Cuando se define una planificación de minado, una ley de corte debe escogerse para definir el tamaño de la mina, la capacidad de la planta procesadora, y los flujos de caja resultantes. Empero, el cut-off de grade óptimo debe estar condicionado de los flujos de caja generados por el proyecto. Una vez que el flujo de caja ha sido determinado, el cut-off grade debe ser re-calculada. Las leyes de corte también deben ser revisadas en simultaneo que el planeamiento progresa, cuando de la geología del depósito se tenga con la cantidad, el grado o la calidad, las densidades, la forma y las características físicas con la confianza suficiente, cuando el modelamiento del yacimiento esté actualizado, cuando los parámetros de los métodos de minado y procesamiento sean mejor definidos, cuando se cuantifique las restricciones en producción, y cuando la selectividad y control de dilución lograda de mina sea definida.

Cuando una mina está en producción, el anhelo de la gerencia y directorio es que la los resultados del flujo de caja sean idénticos respecto del estudio de factibilidad. Pero, las condiciones en la operación son difícilmente iguales a aquellas tomadas en cuenta durante el

estudio de factibilidad. Existe diferencias entre el modelo diseñado del yacimiento geológico desarrollado de la base de datos de exploración, geología, geotecnia y características metalúrgicas actual del yacimiento geológico diseñado en el estudio de factibilidad. La producción de mina es o mayor o menor que lo planificado. La planta concentradora puede procesar toneladas métricas mayores o menores que lo planificado. La recuperación metalúrgica de planta es mayor o menor de lo considerado de las pruebas metalúrgicas. Los costos de capital y operación difieren de aquellos incluidos en el estudio de factibilidad. El precio o cotización del producto vendido no es igual al pronosticado por su inestabilidad ante la oferta y demanda del mercado internacional. Las leyes de corte deben ser periódicamente examinadas y ser modificadas según como cambia las condiciones de operación. El método usado para optimizar la ley de corte debería ser el mismo a lo largo de la vida del proyecto, durante el estudio de factibilidad, así como cuando la mina está en producción. Sin embargo, la ley de corte óptima cambiará conforme cambien las variables controlables en el tiempo.

Asimismo, del caso de estudio se concluye:

- A. Los modelos de ley de corte presentados en trabajo de investigación son útiles para el área de planeamiento de minas cuando definen una política de ley de cortes lo largo de la vida de la mina. Se compararon dos modelos de ley de corte, tanto clásicos como modernos, para ilustrar la importancia de optimizar las leyes de corte basadas en el impacto en el valor presente neto (VPN).

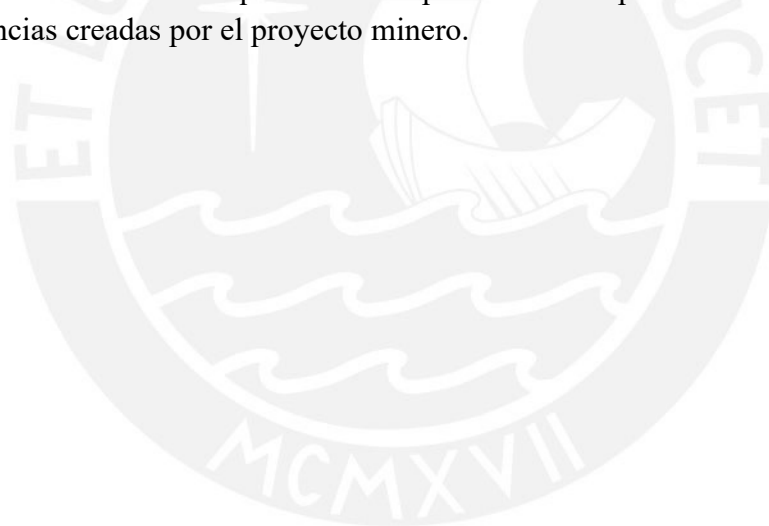
De las tablas 44 y 45 que muestra el análisis de sensibilidad, se demuestra que los resultados del VPN del Modelo Moderno (Modelo K. Lane – Heurístico) son siempre mayores que del Modelo Tradicional (Modelo Break-Even) aun cuando se toma en cuenta variables muy inestables como son el precio y el costo de producción, manteniendo se valor mayor en cualquier escenario.

Como se muestra en la Tabla 43 El Modelo Tradicional (Modelo de Break-Even) genero resultados subóptimos comparados al modelo moderno (Modelo K. Lane – Heurístico), que tuvieron mejor creación de valor a través de VPN mejorados. Por ello, los resultados en el VPN y TIR generados por el modelo Moderno en el flujo de caja antes de impuestos, después de impuesto y nivel de accionista siempre fue mayor en comparación del Modelo Tradicional.

- B. El comportamiento de la línea como se muestra en la Figura 55. Enfoque Moderno vs Enfoque Tradicional entregado por Lane – Heurístico (Enfoque Moderno) es decreciente en el tiempo; ya que, al intentar maximizar los flujos de caja de la operación, se debe considerar que los primeros años son lo que dan mayor aporte al VPN, por lo que se busca la extracción de mineral con las leyes mayores en los primeros años.
- C. El cálculo del Valor Presente Neto a través de las leyes de corte, establece una herramienta de toma de decisiones para definir la viabilidad económica conveniente en la valorización de las reservas de la operación minera, dado que toma en cuenta tanto

las ganancias actuales como también las futuras del proyecto, y tiene mayor flexibilidad de reajuste a condiciones económicas inestables al considerar los ingresos y costos año a año en el flujo de caja neto anual.

- D. La maximización del Valor Presente Neto de un proyecto minero depende en gran medida de la optimización de la ley de corte, y de la política de ley de corte elegida con la que esta se calcule. Por ello, para el cálculo de la ley de corte, una formulación distinta podría tomar en cuenta otros costos que no entran con frecuencia en la estimación, como por ejemplo los costos sociales y ambientales, que perturban el resultado del VPN.
- E. Con el presente trabajo de investigación se define un Método Moderno (Modelo K. Lane – Heurístico) que genera una maximización el VPN a partir de la optimización de la ley de corte a través de la distribución de utilidades dependientes principalmente de las leyes de mineral promedio de las reservas periodo a periodo, estando sujeto a restricciones técnicas y económicas, en este caso la capacidad de procesamiento de la planta y los parámetros de diseño. De esta manera, se concluye que el Modelo K. Lane - Heurístico es muy útil y está elaborado para poder funcionar correctamente con una gran cantidad de variables que sean de importancia en el proceso minero y que afecten las ganancias creadas por el proyecto minero.



## 16. BIBLIOGRAFIA

- Kenneth F Lane. (1988). The Economic Definition of Ore (Mining Communications Ltd., London).
- Hall Brian. (2014). Cut-Off Grades and Optimising the Strategic Mine Plan (Australasian Institute of Mining and Metallurgy, Carlton, Victoria, Australia).
- Rendu, J.M. (2008). Introduction. An introduction to cut-off grade estimation United States of America: Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc.
- Bascetin, A. & Nieto, A. (2007). Determination of optimal cutoff grade policy to optimize NPV using a new approach with optimization factor. The southern African Institute of Mining and Metallurgy.
- Plantilla Ms Excel – Evaluación de Proyecto Minero – Elaborado por Fernando Gala Soldevilla.
- Dagdelen, K. (1992). Cutoff grade optimization. Homestake Mining Company.
- Nieto, A. & Bascetin, A. (2006). Mining cutoff grade strategy to optimize NPV based on multiyear GRG iterative factor. Mining Technology