

**Universidad Nacional de Ingeniería**  
**Facultad de Ingeniería Geológica Minera y Metalúrgica**



TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

**Análisis de plan de minado estratégico para determinar la  
capacidad óptima de planta en proyectos mineros de cobre a tajo  
abierto**

Para obtener el título profesional de Ingeniero de Minas

Elaborado por

Elias Jonathan Villarreal Salazar

 [0009-0003-2994-8700](https://orcid.org/0009-0003-2994-8700)

Asesor

MSc. Adolfo Jesús Chavez Valdivia

 [0000-0003-0625-1495](https://orcid.org/0000-0003-0625-1495)

LIMA – PERÚ

2025

---

Citar/How to cite	Villarreal Salazar [1]
Referencia/Reference	[1] E. Villarreal Salazar, " <i>Análisis de plan de minado estratégico para determinar la capacidad óptima de planta en proyectos mineros de cobre a tajo abierto</i> " [Trabajo de suficiencia profesional de pregrado]. Lima (Perú): Universidad Nacional de Ingeniería, 2025.
Estilo/Style: IEEE (2020)	

---



---

Citar/How to cite	(Villarreal, 2025)
Referencia/Reference	Villarreal, E. (2025). <i>Análisis de plan de minado estratégico para determinar la capacidad óptima de planta en proyectos mineros de cobre a tajo abierto</i> . [Trabajo de suficiencia profesional de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio institucional Cybertesis UNI.
Estilo/Style: APA (7ma ed.)	

---

### ***Dedicatoria***

*Dedico este trabajo a mis padres, Eduvigis y Nola, quienes con mucho amor y desapego se esforzaron por brindarme educación, me inculcaron la disciplina e importancia de estudiar y luchar por mis sueños.*

*A mi esposa Merilín, por impulsarme a concluir esta etapa profesional, a mis hijos Gabriel y Mathías quienes son mi mayor fuente de motivación.*

## **Agradecimientos**

En primer lugar, el agradecimiento a Dios por permitirme disfrutar cada objetivo personal y profesional junto a mis seres queridos.

A la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica de la Universidad Nacional de Ingeniería, a mis profesores y colegas por los conocimientos compartidos.

## Resumen

El presente trabajo de suficiencia desarrolla un análisis de planes de minado estratégico para determinar la capacidad de óptima de planta en proyectos mineros de cobre a cielo abierto. La unidad de estudio es el proyecto minero Tía María, el cual se encuentra en el departamento de Arequipa, provincia de Islay y le pertenece a la empresa Southern Perú. El proyecto consta de 2 yacimientos llamados “La Tapada” y “Tía María” los cuales son pórfidos de cobre (Cu) y el método de procesamiento es la lixiviación en pads dinámicos. Para realizar este trabajo se recolectaron datos de topográficos, geotécnicos, metalúrgicos y económicos los cuales están basados en el estudio de factibilidad que la empresa desarrolló en el año 2012, luego de ello se actualizaron los costos operativos y de inversión al año 2024 considerando la inflación de EEUU y la regla de los 6 décimos o de Smith; posterior a ello se definieron 15 diferentes tasas de tratamiento para evaluar el proyecto minero; estas tasas varían desde 40 Ktpd hasta 180 Ktpd y para cada caso se generaron optimizaciones, selección de fases y planes de minado estratégicos.

Finalmente se actualizó los costos operativos, los costos de capital, cronograma de construcción, se realizaron las evaluaciones económicas de cada alternativa y se concluyó que la capacidad de óptima de planta recomendada para el proyecto debe ser 120 Ktpd dado que genera entre un 15-17% adicional de valor para la compañía con el mayor porcentaje de éxito promedio.

Palabras clave — Capacidad óptima, pórfidos de cobre (Cu), estudio de factibilidad, lixiviación, pads dinámicos, costos operativos, costos de capital, evaluación económica.

## **Abstract**

The present sufficiency work develops an analysis of strategic mining plans to determine the optimal plant capacity in open pit copper mining projects. The unit of study is the Tia Maria mining project, which is in the department of Arequipa, province of Islay and belongs to Southern Peru. The project consists of 2 deposits called “La Tapada” and “Tia Maria” which are porphyry copper (Cu) and the processing method is dynamic pad leaching.

To carry out this work, topographic, geotechnical, metallurgical and economic data were collected based on the feasibility study that the company developed in 2012, after which the operating and investment costs were updated to the year 2024 considering the US inflation and the rule of 6 tenths or Smith's rule; After that, 15 different treatment rates were defined to evaluate the mining project; these rates vary from 40 Ktpd to 180 Ktpd and for each case optimizations, phase selection and strategic mining plans were generated.

Finally, the operating costs, capital costs, construction schedule, economic evaluations of each alternative were updated, and it was concluded that the optimum plant capacity recommended for the project should be 120 Ktpd since it generates between 15-17% additional value for the company with the highest average success rate.

**Keywords** — Optimum capacity, porphyry copper (Cu), feasibility study, leaching, dynamic pads, operating costs, capital costs, economic evaluation.

## Tabla de Contenido

	Pág.
Resumen .....	v
Abstract .....	vi
Introducción .....	xiv
Capítulo I. Parte introductoria del trabajo .....	1
1.1 Generalidades .....	1
1.2 Descripción del problema de investigación .....	1
1.3 Formulación del problema .....	2
1.4 Objetivo .....	2
1.5 Hipótesis .....	2
1.6 Operacionalización de variables .....	2
1.6.1 Variable independiente .....	2
1.6.2 Variable dependiente.....	2
1.7 Matriz de consistencia .....	2
1.8 Antecedentes referenciales .....	3
1.8.1 Antecedentes internacionales.....	3
1.8.2 Antecedentes nacionales .....	5
Capítulo II. Marcos teórico y conceptual.....	6
2.1 Marco teórico.....	6
2.1.1 Plan estratégico de minado .....	6
2.1.2 Capacidad de planta.....	7
2.1.3 Tasa de producción mina .....	8
2.2 Marco conceptual .....	8
2.2.1 Planta .....	8
2.2.2 Capacidad .....	8
2.2.3 Reservas .....	8
2.2.4 Multipit.....	9

Capítulo III. Desarrollo del trabajo de investigación .....	10
3.1 Recolección de datos .....	11
3.1.1 Topografía.....	11
3.1.2 Modelo de recursos.....	12
3.1.3 Modelo geotécnico .....	16
3.1.4 Modelo metalúrgico .....	19
3.1.5 Modelo económico .....	21
3.2 Procesamiento de la información.....	23
3.2.1 Modelo de bloques .....	23
3.2.2 Análisis estadístico de variables.....	26
3.2.3 Modelo geotécnico .....	29
3.2.4 Modelo metalúrgico .....	33
3.2.5 Modelo económico .....	33
Capítulo IV. Análisis e interpretación de resultados .....	37
4.1 Construcción de modelo CAPEX y OPEX .....	37
4.2 Optimización de Pit.....	45
4.3 Valorización de bloque .....	46
4.4 Generación de planes de minado .....	49
4.4.1 Tiempo de ejecución de proyecto.....	49
4.4.2 Definición de fases de minado.....	50
4.4.3 Inputs plan minero .....	55
4.5 Plan de minado estratégico .....	57
4.6 Consumo de CAPEX.....	59
4.7 Evaluación económica y análisis éxito promedio .....	59
4.8 Contrastación de la Hipótesis (H1) y formulación Hipótesis Nula (H0).....	62
Conclusiones .....	64
Recomendaciones .....	65
Referencias bibliográficas.....	66

Anexos .....	67
--------------	----

## Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1 : Matriz de consistencia.....	3
Tabla 2 : Coordenadas de los yacimientos .....	10
Tabla 3 : Coordenadas de los yacimientos .....	11
Tabla 4 : Dimensiones del modelo de La Tapada .....	13
Tabla 5 : Modelo de bloques de La Tapada .....	13
Tabla 6 : Dimensiones del modelo de Tía María .....	15
Tabla 7 : Relación de ítems del modelo de recursos Tía María.....	15
Tabla 8 : Dominios geo-mecánicos tajo La Tapada.....	17
Tabla 9 : Ángulos del tajo La Tapada por zona geotécnica.....	17
Tabla 10: Ángulo del tajo Tía María por zona geotécnica. ....	18
Tabla 11: Estimación del CAPEX.....	21
Tabla 12: Resumen de costos de mina por actividad.....	22
Tabla 13: Resumen de costos de planta por actividad, La Tapada.....	22
Tabla 14: Resumen de costos de planta por actividad, Tía María.....	23
Tabla 15: Límites de modelo de recursos proyecto Tía María.....	23
Tabla 16: Descripción de variables de modelo de bloques. ....	24
Tabla 17: Descripción de la variable litología.....	24
Tabla 18: Descripción de la variable alteración.....	25
Tabla 19: Descripción de la variable mineralización.....	25
Tabla 20: Descripción de la variable class. ....	25
Tabla 21: Descripción de la variable destino.....	26
Tabla 22: Estadísticas del modelo de bloques.....	26
Tabla 23: Ángulo del proyecto Tía María por zona geotécnica.....	31
Tabla 24: Proyección del precio de Cu US\$/lb. ....	35
Tabla 25: Actualización de CAPEX.....	37
Tabla 26: Inversión por tasa de producción. ....	38

Tabla 27: Resumen de costos de mina por actividad.....	39
Tabla 28: Resumen de costos de mina por tasa de procesamiento. ....	39
Tabla 29: Resumen de costos de planta por actividad, La Tapada. ....	40
Tabla 30: Resumen de costos de planta por actividad, Tía María. ....	41
Tabla 31: Costos de planta “La Tapada” por tasa de procesamiento (Área seca). ....	41
Tabla 32: Costos de planta “La Tapada” por tasa de procesamiento (Área húmeda).....	42
Tabla 33: Costos de planta “Tía María” por tasa de procesamiento (Área seca).....	43
Tabla 34: Costos de planta “Tía María” por tasa de procesamiento (Área húmeda).....	44
Tabla 35: Modelo económico, actualización al 2024. ....	46
Tabla 36: Inputs plan minero.....	56
Tabla 37: Consumo de CAPEX.....	59
Tabla 38: Análisis éxito promedio. ....	61

## Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1 : Ubicación regional .....	11
Figura 2 : Vista isométrica de la topografía de los yacimientos .....	12
Figura 3 : Sección E-O 8'114,800 N del modelo La Tapada.....	14
Figura 4 : Sección E-O 8'117,050 N del modelo Tía María .....	16
Figura 5 : Sectorización geotécnica “La Tapada”.....	18
Figura 6 : Sectorización geotécnica “Tía María”.....	19
Figura 7 : Esquema de flujo de etapa de extracción por solventes.....	20
Figura 8 : Esquema de flujo de manejo de soluciones PLS, ILS y Refino. ....	21
Figura 9 : Histograma de densidad y tonelaje. ....	27
Figura 10: Histograma de Cu y CuSAC.....	27
Figura 11: Histograma de CuCN y Au. ....	27
Figura 12: Histograma de Cu residual.....	28
Figura 13: Histograma de Cu - La Tapada. ....	28
Figura 14: Histograma de Cu - Tía María.....	29
Figura 15: Configuración de ángulos de talud proyecto Tía María. ....	29
Figura 16: Ángulo del proyecto Tía María por zona geotécnica. ....	32
Figura 17: Histograma de recuperación. ....	33
Figura 18: Promedio de precios de Cu 2024-2033 US\$/lb.....	34
Figura 19: Distribución de probabilidad de proyecciones precio Cu US\$/lb. ....	36
Figura 20: Inversión por tasa de producción. ....	38
Figura 21: Modelo OPEX Mina (US\$/t) .....	40
Figura 22: OPEX Planta- Área seca La Tapada (US\$/t).....	42
Figura 23: OPEX Planta- Área húmeda La Tapada (US\$/t) .....	43
Figura 24: OPEX Planta- Área seca, Tía María (US\$/t) .....	44
Figura 25: OPEX Planta- Área húmeda Tía María (US\$/t). ....	45
Figura 26: Costo incremental de acarreo (\$/t).....	47

Figura 27: Envolverte económica tajo final a 3.5 US\$ / lb de Cu. ....	49
Figura 28: Cronograma de ejecución de proyecto Casos 01-08.....	50
Figura 29: Cronograma de ejecución de proyecto Casos 08-15.....	50
Figura 30: Definición de fases de minado Casos 01-15. ....	51
Figura 31: Definición de fases de minado Caso 01-05.....	52
Figura 32: Definición de fases de minado Caso 06-10.....	53
Figura 33: Definición de fases de minado Caso 11-15.....	54
Figura 34: Diagrama de trabajo de software MPSO.....	57
Figura 35: Producción anual de Cu (Kt).....	58
Figura 36: Producción anual acumulada de Cu (Kt).....	58
Figura 37: Valor presente neto.....	60
Figura 38: Evaluación económica.....	60
Figura 39: Test de normalidad R-J (NPV).....	62
Figura 40: Matrix Plot of Planes, NPV.....	63

## Introducción

En el presente trabajo de investigación, se tiene como objetivo desarrollar un análisis de planes de minado estratégico para determinar la capacidad de óptima de planta en proyectos mineros de cobre a cielo abierto. El contenido se ha estructurado en cuatro capítulos, descritos a continuación:

El Capítulo I, se titula Parte introductoria del trabajo y contiene: La descripción del problema de investigación. Así mismo este capítulo contiene hipótesis, operacionalización de variables, la matriz de consistencia y antecedentes referenciales.

El Capítulo II, se titula Marcos teórico y conceptual y contiene: marco teórico, donde se muestran diversos estudios base relacionados con el planeamiento estratégico, capacidad de planta y tasa de producción mina. También se incluye en el presente capítulo el marco conceptual, donde se precisa los términos recurrentes en la investigación que connotan un significado específico.

El Capítulo III, se titula Desarrollo del trabajo de investigación y contiene: tipo, enfoque, diseño y alcance y unidad de análisis de la investigación, asimismo se cuenta con la recolección de datos tales como topografía, modelos de recursos, metalúrgico y económicos, luego se realiza el procesamiento de la información con la elaboración de cuadros y gráficos para realizar un mejor análisis.

El Capítulo IV, se titula Análisis y discusión de resultados y contiene la construcción de modelos CAPEX y OPEX, valorización de bloques, optimización de pits, generación de planes de minado y evaluación económica.

Finalmente se brindan las conclusiones y recomendaciones donde se indica los argumentos finales y sugerencias para futuras propuestas que puedan complementar esta investigación.

# Capítulo I. Parte introductoria del trabajo

## 1.1 Generalidades

La determinación de la capacidad óptima de planta en proyectos mineros constituye un proceso esencial para garantizar la eficiencia operativa, la rentabilidad económica y la sostenibilidad ambiental del desarrollo. Este análisis contempla múltiples factores técnicos, como las propiedades del yacimiento, que incluyen la calidad del mineral, la cantidad de reservas disponibles y las características geológicas del depósito. Asimismo, es primordial considerar el rendimiento de los procesos metalúrgicos, dado que la recuperación del mineral afecta directamente la dimensión requerida de la planta.

Desde una perspectiva económica, el concepto de economía de escala es clave en este análisis. Un aumento en la capacidad puede conllevar una reducción de los costos unitarios de procesamiento, aunque también puede implicar riesgos financieros significativos, como una mayor inversión inicial y la posibilidad de un uso insuficiente de la infraestructura en mercados volátiles. Por otro lado, el cumplimiento de las normativas regulatorias, la disponibilidad de recursos naturales esenciales como agua y energía, y los impactos ambientales asociados son factores determinantes que influyen en la viabilidad del proyecto. El enfoque principal radica en encontrar un equilibrio que permita optimizar los beneficios financieros, garantizar el cumplimiento de los estándares regulatorios y mantener la sostenibilidad del proyecto a largo plazo.

## 1.2 Descripción del problema de investigación

Los proyectos mineros tienen diferentes etapas: exploración, prefactibilidad, factibilidad, ingeniería de detalle y construcción. Para iniciar cada etapa se debe realizar una inversión la cual tiene asociada una incertidumbre y en cada una de ellas se definen parámetros, como: recursos y reservas minerales, tamaño del proyecto, CAPEX, valor del mineral, OPEX, horizonte de vida de mina, tasas de descuento, entre otros.

Uno de los parámetros principales que se determina entre las etapas de prefactibilidad y factibilidad es el tamaño de la tasa de tratamiento. Esto se determinaba

antiguamente de forma empírica, primero calculando la vida de la mina y en función de ello la tasa de tratamiento anual uniforme.

Todo lo descrito anteriormente implica tener una enorme incertidumbre acerca de la capacidad de tratamiento óptima, debido a que las reglas empíricas no consideran factores como: precios de los metales, mineralogía y costos (capital inicial, sostenimiento, operativos, etc.).

En la actualidad se realizan planes de minado estratégicos usando programas mineros que facilitan la optimización de estos ya sea mediante la programación lineal, programación dinámica, algoritmos genéticos entre otras técnicas, no obstante, un inadecuado análisis de estos planes resulta en una elección incorrecta de la capacidad de planta de un proyecto minero y esto influye en la decisión de avanzar hacia las siguientes etapas mencionadas en el primer párrafo.

### **1.3 Formulación del problema**

¿En qué medida un inadecuado análisis de planes de minado estratégicos influye negativamente en la determinación de la capacidad óptima de planta en proyectos mineros de cobre a cielo abierto?

### **1.4 Objetivo**

Desarrollar un análisis de planes de minado estratégico para determinar la capacidad de óptima de planta en proyectos mineros de cobre a cielo abierto.

### **1.5 Hipótesis**

Un adecuado análisis de planes de minado estratégico determinará la capacidad óptima de planta en proyectos mineros de cobre a cielo abierto.

### **1.6 Operacionalización de variables**

#### ***1.6.1 Variable independiente***

Planes de minado

#### ***1.6.2 Variable dependiente***

Capacidad de planta

### **1.7 Matriz de consistencia**

**Tabla 1**

*Matriz de consistencia*

Problema	Objetivo	Hipótesis	Variables		Indicadores	Técnicas e instrumentos de recolección de datos
			Dependiente	Independiente		
¿En qué medida un inadecuado análisis de planes de minado estratégicos influye negativamente en la determinación de la capacidad óptima de planta en proyectos mineros de cobre a cielo abierto?	Desarrollar un análisis de planes de minado estratégicos para determinar la capacidad de óptima de planta en proyectos mineros de cobre a cielo abierto	Un adecuado análisis de planes de minado estratégico determinará la capacidad óptima de planta en proyectos mineros de cobre a cielo abierto.	Capacidad de planta	Planes de minado	Valor presente del proyecto (NPV) Tasa interna de retorno (TIR) IVAN (NPV/CAPEX)	Modelo de recursos del proyecto (Base de datos) Modelos CAPEX-OPEX

Fuente: Elaboración propia.

## 1.8 Antecedentes referenciales

### 1.8.1 Antecedentes internacionales

Albornoz, M. (2020), en su tesis de pregrado: “Cálculo de la tasa de producción óptima en minería a cielo abierto”. Este estudio examina el impacto de variables importantes para distintos tamaños de reservas y mismo al tiempo se compara diversos enfoques para calcular la tasa de producción óptima (TPO).

En la investigación se realizó un análisis de sensibilidad para evaluar cómo dependía la TPO respecto del precio, la relación estéril mineral (REM) y la tasa de descuento para tres tamaños de reserva diferentes.

Los resultados del análisis demostraron que la tasa de descuento es el componente menos sensible dado que la TPO no se alteró significativamente. Según el análisis de precios, la TPO creció un 100%, 66% y 45% para las reservas grandes, medianas y pequeñas, respectivamente, cuando el precio aumentó un 122%. Además, cuando la REM aumentó un 200%, la TPO de las reservas grandes, medianas y pequeñas creció un 100%, un 60% y un 57%, respectivamente, lo que indica que el análisis la REM produjo resultados

comparables al análisis de precios. En consecuencia, tanto el precio como la REM son factores sensibles que tienen un impacto comparable en la selección de la TPO.

Según los resultados de la comparación de las técnicas de estimación de la TPO, la fórmula empírica de Taylor, a pesar de su antigüedad, arroja resultados fiables que pueden utilizarse para evaluar un proyecto minero en la fase de viabilidad. Sin embargo, dado que la curva del VAN por sí sola a veces no ofrece información útil sobre la vida de la mina, el criterio de Lawrence Smith afirma que existe un rango de TPO entre el máximo de la curva que paga el doble de los gastos de capital y el máximo de la curva del VAN.

Tras aplicar la metodología "Hill of Value" a un caso práctico, se descubrió que la ley de corte elegida previamente de 0.3 no era óptimo. Para alcanzar el valor más alto, fue necesario elevarlo a 0,8 y elegir una tasa de producción de 44 Mt/año, lo que generó un incremento de 321 MUSD al valor presente neto.

Pizarro, C (2015), en su tesis de posgrado: "Análisis de determinación del tamaño óptimo del negocio minero, caso evaluación para gran minería a rajo abierto". Este estudio realiza un análisis para determinar el tamaño del negocio minero de un yacimiento mediano de cobre en el norte de Chile. Este yacimiento cuenta con importantes recursos minerales, pero su ley media de cobre es baja. Además, el estado actual del mercado impide la generación de grandes reservas mineras, por lo que es necesario establecer una minería a gran escala para poder establecer un negocio.

El estudio crea cuatro escenarios de producción (plantas de 70 ktpd, 90 ktpd, 120 ktpd y 140 ktpd), y el análisis se centra en calcular el valor actual neto (VAN) del negocio teniendo en cuenta los planes de producción y gastos de capital de la mina y la planta.

Los resultados muestran que el valor actual neto (VAN) del proyecto es muy sensible al precio del cobre y a los costos de proceso. La inversión en la planta es la variable que más afecta al VAN porque tiene un valor porcentual muy alto en comparación con otras inversiones del proyecto, como la compra de equipos para la mina. La investigación también permite determinar que se necesita un aumento del 50% en el contenido de finos del yacimiento para duplicar la capacidad de la planta.

En conclusión, el estudio menciona que, dadas las importantes inversiones que conllevan, el mercado no apoyará por el momento las plantas de mayor capacidad (más de 100 ktpd). Sin embargo, esta situación cambiará en el futuro si se encuentra un yacimiento mayor o si cambian las condiciones del mercado.

### **1.8.2 Antecedentes nacionales**

Brañez, H. (2017), Artículo especializado: “Planeamiento estratégico de minado: Optimización de la capacidad de planta”. La planificación estratégica minera evalúa diversos planes de extracción, la ley de corte operativa, la secuencia de extracción y la capacidad de la planta para optimizar la generación de valor en la extracción del recurso mineral. Los estudios sobre la ampliación de la capacidad de la planta y la evaluación de proyectos mineros a veces no especifican la metodología utilizada para estimar la escala de producción prevista de la mina/planta. La decisión arbitraria del propietario del proyecto, el uso de normas prácticas basadas en investigaciones empíricas o el juicio de expertos son los fundamentos de muchos de estos proyectos.

La economía de escala se utiliza para optimizar el rendimiento de la inversión, pero no se tiene en cuenta el riesgo financiero de ampliar el alcance del proyecto. La no linealidad de las curvas de recuperación metalúrgica frente a la ley del mineral sugiere identificar un punto óptimo en el que los beneficios decrecientes de la minería selectiva son insuficientes para justificar el aumento de los costes de minería y la reducción de la capacidad de la planta. Basándose en la sensibilidad de una serie de escenarios de planes mineros, el estudio examina los factores más importantes y sugiere una metodología para determinar la capacidad ideal de la planta con el fin de maximizar el rendimiento de la inversión.

## Capítulo II. Marcos teórico y conceptual

### 2.1 Marco teórico

#### 2.1.1 *Plan estratégico de minado*

Hall B. & Stewart C. (2004), en su artículo especializado: "Optimising the Strategic Mine Plan – Methodologies, Findings, Successes and Failures". Menciona que, en la actualidad, la mayoría de las empresas mineras se esfuerzan por maximizar el valor para el accionista y para alcanzar esos objetivos, los autores han estudiado una gran variedad de materias primas, mineralizaciones de diversos yacimientos, evaluaciones de planes estratégicos de minado, métodos de minado e instalaciones para el procesamiento de minerales, tanto para yacimientos únicos como múltiples depósitos. Por ello, se han desarrollado muchos enfoques y se han encontrado ciertos problemas y resultados comunes.

En el desarrollo de la investigación se menciona que muchas minas cuentan con políticas de ley de corte que no garantizan el máximo valor para el accionista, incluso a pesar de los objetivos declarados de la empresa. Si se compara con el método que se adoptó inicialmente al principio de la investigación, es posible obtener importantes ganancias de valor y esto sucede normalmente en los primeros años de operación.

El nuevo plan ideal exige un incremento a la ley de corte; al menos temporalmente, esto suele ir unido a un aumento de la tasa de explotación a cielo abierto o subterránea para aplicar el nuevo enfoque. Los resultados suelen ser contraintuitivos. La ley de corte ideal, por ejemplo, no suele verse muy afectada por los cambios en el precio del metal. Incluso si las estructuras de costes y la mineralización de una mina subterránea son comparables, las tasas de corte óptimas para las distintas secciones pueden cambiar sustancialmente.

El estudio describe varias técnicas utilizadas para determinar los mejores planes mineros tratando de identificar el óptimo. En todos los casos evaluados existe una

oportunidad sustancial de mejora del valor. La empresa ha aplicado el plan sugerido en algunos casos. En otros casos, sin embargo, las cosas han seguido igual.

Los autores del estudio identifican los elementos que, en su opinión, influyen en la decisión de una empresa de aceptar o rechazar un nuevo plan de minado que ha demostrado aportar un valor significativo, y, por tanto, al valor de llevar a cabo un análisis de este tipo.

### **2.1.2 Capacidad de planta**

McCarthy L. (2002), en el artículo especializado: "Setting Plant Capacity". Menciona que la capacidad de planta óptima para una nueva mina suele determinarse mediante investigaciones empíricas o "reglas empíricas", que pueden verificarse realizando un análisis exhaustivo de la programación de la explotación minera. Con estos métodos, el sector minero tiene un historial de bajos rendimientos de la inversión y una elevada tasa de fracaso de los proyectos, siendo el bajo rendimiento de la ley un hecho típico.

Por lo mencionado en el párrafo anterior es necesario sopesar las consecuencias negativas de aumentar la tasa por encima de lo que el recurso puede soportar frente a la presunción de que se producirán "economías de escala" al aumentar las tasas de producción. Es un hecho que, para cualquier escala de explotación que se tome en consideración, la ley de cabeza real alcanzada disminuirá a medida que aumente la tasa de extracción para cualquier. El personal que trabaja en las unidades mineras es consciente de este efecto, pero el método actual de estimación de las reservas minerales no lo tiene en cuenta.

Finalmente, el artículo concluye que la tasa de extracción y tratamiento económicamente óptima para un nuevo proyecto puede determinarse cuantificando esta relación entre la ley de la cabeza y la tasa de extracción. Para la optimización financiera, se sugiere un análisis básico que podría aplicarse fácilmente en modelos en hoja de cálculo.

### **2.1.3 Tasa de producción mina**

Smith Lawrence Devon (1997), en el artículo especializado: “A critical examination of the methods and factors affecting the selection of an optimum production rate”. Indica que la elección de la tasa de producción es una de las decisiones más importantes que deben tomarse al desarrollar un proyecto minero.

Los gastos de capital, los costos de explotación y la vida útil de la mina se verán influidos por este componente. Todos estos factores afectan a la viabilidad y la economía del proyecto. La tasa de producción suele determinarse al azar antes de iniciar cualquier evaluación técnica, y con frecuencia no se reevalúa cuando se dispone de datos más precisos.

En muchos casos, el resultado es una planta de extracción y tratamiento demasiado grande para el yacimiento. Con frecuencia, es excesivamente alta, lo que impone al propietario y al proyecto unos gastos que el yacimiento no puede cubrir.

Este estudio examina cómo influyen en la elección de la tasa de producción los ingresos, las reservas, los gastos de explotación y los costos de capital.

## **2.2 Marco Conceptual**

### **2.2.1 Planta**

En el presente trabajo de investigación se hace referencia a la planta de tratamiento de óxidos.

### **2.2.2 Capacidad**

En el presente trabajo de investigación se hace referencia a la capacidad de la planta de tratamiento de óxidos.

### **2.2.3 Reservas**

Es aquella parte de un recurso mineral por la cual se puede estimar el tonelaje, ley y contenido de mineral con un bajo nivel de confianza. Se infiere a partir de evidencia geológica y se asume, pero no se certifica la continuidad geológica ni de la ley. Se basa en información inferida mediante técnicas apropiadas de localizaciones como pueden ser

afloramientos, zanjas, rajos, laboreos y sondajes que pueden ser limitados o de calidad y confiabilidad incierta.

#### ***2.2.4 Multipit***

Proyecto minero que cuenta con varios yacimientos cercanos, los cuales generan varios tajos abiertos.

### Capítulo III. Desarrollo del trabajo de investigación

La presente investigación tiene como unidad de análisis el proyecto minero Tía María, el cual es propiedad de la empresa Southern Peru.

El proyecto consta de dos yacimientos los cuales son principalmente óxidos de cobre, una mineralización primaria en profundidad y una zona de enriquecimiento primario en uno de los yacimientos. Las coordenadas referenciales son: 8,116,827 N y 205,757 E y se encuentra aproximadamente a 127 km al sur oeste de la ciudad de Arequipa, en una zona con elevaciones que van desde los 350 hasta los 1050 msnm sobre el margen derecho y cerca de la desembocadura del río Tambo.

**Tabla 2**

*Coordenadas de los yacimientos*

	<b>ESTE (m)</b>	<b>NORTE (m)</b>	<b>ALTITUD (msnm)</b>
La Tapada	208,000	8'114,600	390
Tía María	204,900	8'116,800	650

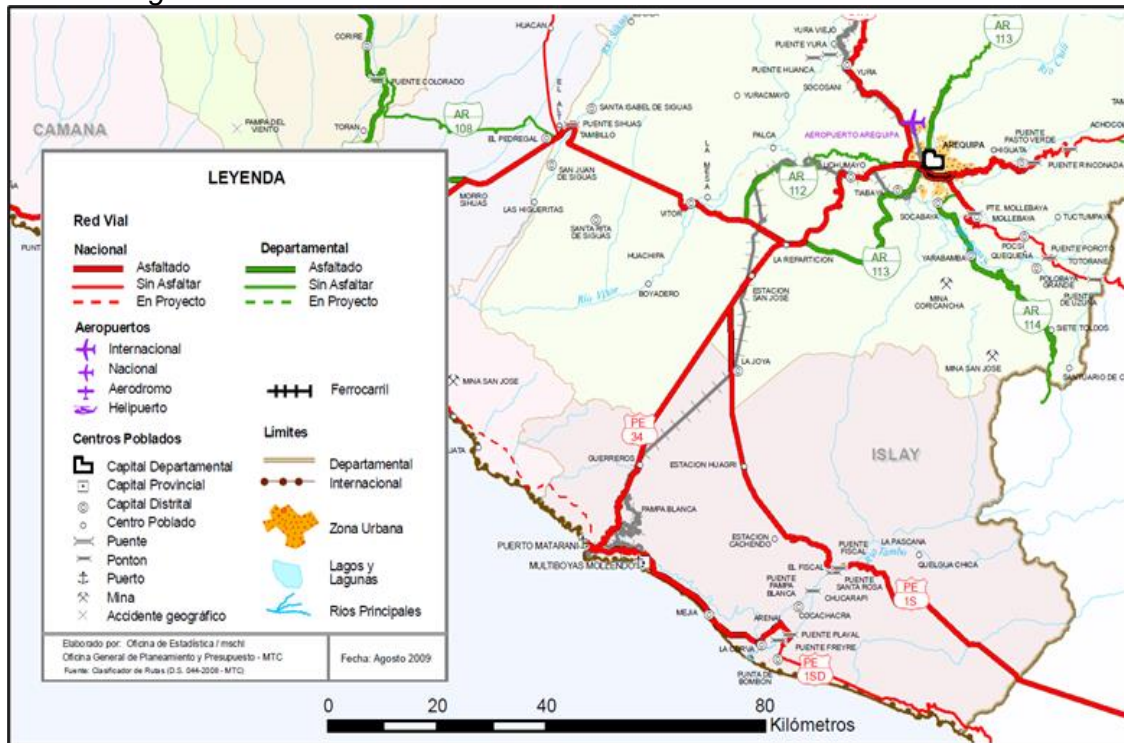
Fuente: Reporte Recursos & Reservas 2011, Planes de minado

El acceso al proyecto por vía terrestre desde la ciudad de Lima es a través de la Panamericana Sur, hasta la altura del km 1,027, por donde se toma un desvío hacia el oeste por una carretera afirmada, pasando por la antigua estación de ferrocarril de Cachendo.

El acceso por vía aérea comercial regular más cercano al proyecto es a través del Aeropuerto Internacional de Arequipa, Alfredo Rodríguez Ballón. Luego por vía terrestre se completa el resto del recorrido, que es de aproximado 127 km por la Panamericana Sur. Se llega hasta el km 1,027 y se toma el desvío hacia la antigua estación Cachendo. Parte del recorrido por vía terrestre del departamento de Arequipa se muestra en la siguiente Figura 1.

**Figura 1**

*Ubicación regional*



Fuente: Ministerio de Transporte y Comunicaciones, Parte del Mapa Vial de Arequipa.

### 3.1 Recolección de datos

#### 3.1.1 Topografía

La topografía usada se encuentra en coordenadas WGS84 y comprende ambos yacimientos abarcando un área de 8,585 ha, lo límites superior e inferior de muestran a continuación:

**Tabla 3**

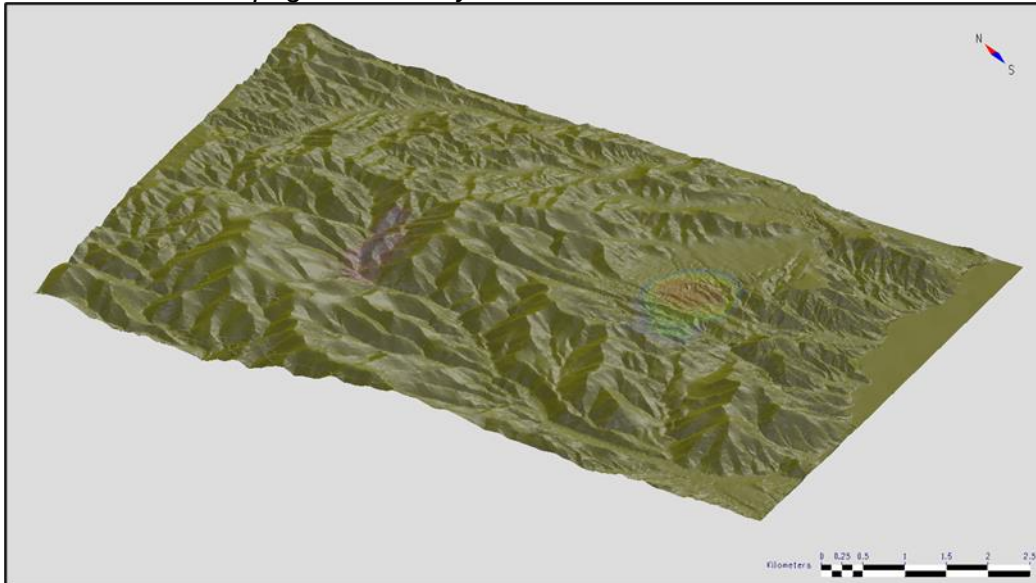
*Coordenadas de los yacimientos*

	ESTE (m)	NORTE (m)	ALTITUD (msnm)
Punto inferior	200,740	8'109,350	80
Punto superior	212,580	8'122,639	1080

Fuente: Reporte Recursos&Reservas2011, Proyecto Mineplan

## Figura 2

*Vista isométrica de la topografía de los yacimientos*



Fuente: Reporte Recursos&Reservas2011, Proyecto Mineplan

### **3.1.2 Modelo de recursos**

#### **Modelo inicial La Tapada**

La mineralización del yacimiento de La Tapada se relaciona principalmente con la alteración potásica y el yacimiento se define como un pórfido de cobre. Se determinaron las zonas mineralizadas: Moquegua, Leach, Óxidos, Enriquecido y Primario. La zona de Óxido es el área principal de interés económico, y contiene los siguientes minerales: crisocola, brocantita, anterita, atacamita y cantidades subordinadas de malaquita y cuprita.

El modelo y su interpretación geológicos respectiva fueron formulados por SPCC a partir de los 223 taladros. La interpretación se plasmó a través de la digitalización de polígonos. Estos polígonos consideraron zonificaciones de litología, alteración y mineralización. En total se generaron 34 secciones Norte-Sur, 33 secciones Este-Oeste y 54 secciones en planta.

En la formulación del modelo en 3D se consideró una extensión de 2.30 km x 2.50 km x 0.93 km. Constituido por bloques de 12.5 x 12.5 x 15 metros; que contabilizan 184 filas, 200 columnas y 62 bancos. Las dimensiones del modelo de La Tapada se indican en la Tabla 5.

**Tabla 4***Dimensiones del modelo de La Tapada*

	MÍNIMO	MÁXIMO	BLOQUE	CANTIDAD
Este	207,000	209,300	12.5	184
Norte	8,113,400	8,115,900	12.5	200
Elevación	-330	600	15.0	62
Total, de Bloques				2,281,600

Fuente: Reporte Recursos & Reservas 2011, Planes de minado

Elaborado a partir de la información del modelo de bloques de La Tapada

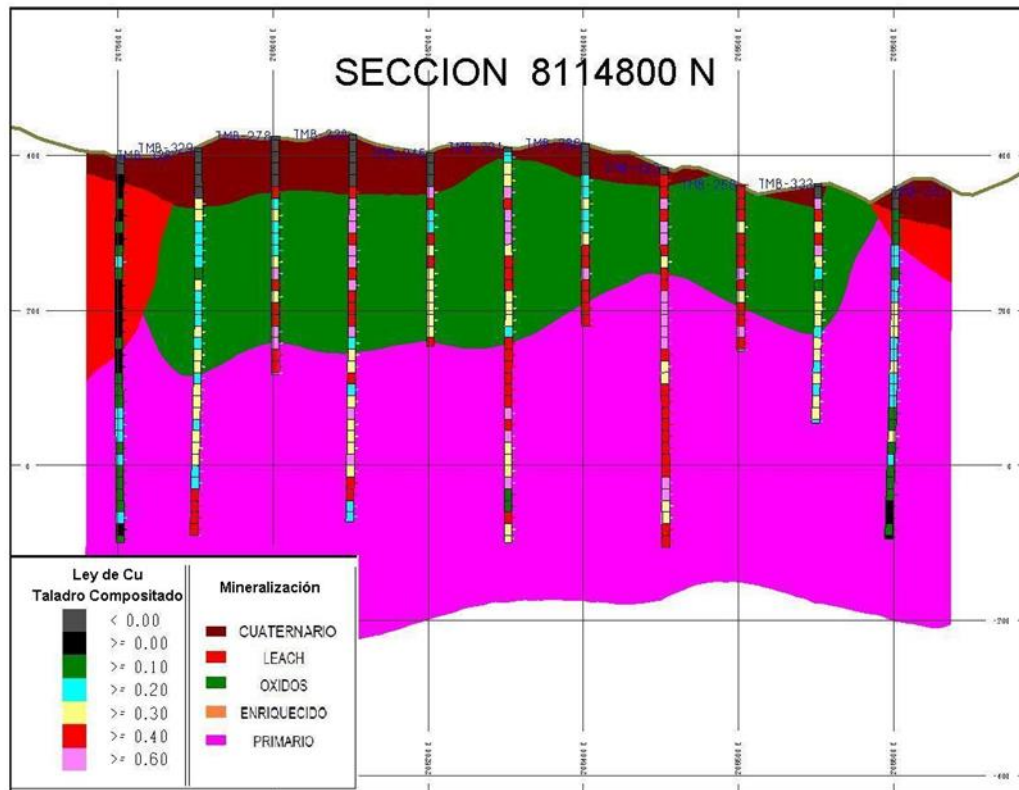
**Tabla 5***Modelo de bloques de La Tapada*

#	ÍTEM	MÍN	MÁX	PRECISIÓN	DESCRIPCIÓN
1	TOPO	0	100	1	Topografía %
2	CU	0	2	0.001	Cu %
3	CUSS	0	2	0.001	Cu % soluble en ácido
4	CUCN	0	2	0.001	Cu % soluble en cianuro
5	CUR	0	2	0.001	Cu % residual
6	AUPPM	0	6.5	0.0001	Au ppm
7	LIT	0	500	1	Litología
8	ALT	0	500	1	Alteración
9	MIN	0	500	1	Mineralización
10	SG	0	5	0.01	Gravedad específica
11	CLASS	0	5	1	Categoría
12	DOMN	0	10	1	Dominio (1-6)
13	RQD	0	2	0.001	Calidad de roca

Fuente: Reporte Recursos & Reservas 2011, Planes de minado

**Figura 3**

*Sección E-O 8'114,800 N del modelo La Tapada*



Fuente: Reporte Recursos & Reservas 2011, Planes de minado

### **Modelo inicial Tía María**

La mineralización del yacimiento de Tía María es principalmente óxido de cobre. Se determinaron las zonas mineralizadas: Cuaternario, Lixiviado, Óxido, Primario y Mixto. La zona de Óxido es el área principal de interés económico, y presenta minerales como: crisocola, neotocita y malaquita en profundidad.

El modelo geológico y su respectiva interpretación geológica de Tía María también fueron formulados por SPCC, a partir de 169 taladros. La interpretación fue digitalizada en una serie de polígonos que abarcaron: 75 secciones Norte-Sur, 96 secciones Este-Oeste y 117 secciones en planta.

El modelo 3D de Tía María fue formulado con una extensión de 2.20 km x 2.40 km x 1.11 km. Constituido por bloques de 12.5 m x 12.5 m x 15 m.; que contabilizan 176 filas, 192 columnas y 74 bancos. Las dimensiones del modelo de Tía María se indican en la Tabla 7.

**Tabla 6***Dimensiones del modelo de Tía María*

	MÍNIMO	MÁXIMO	BLOQUE	CANTIDAD
Este	204,100	206,300	12.5	176
Norte	8,115,800	8,118,200	12.5	192
Elevación	90	1,200	15	74
Total de Bloques				2,500,608

Fuente: Reporte Recursos&Reservas2011, Planes de minado

El modelo geológico de Tía María fue desarrollado por SPCC fue también la base para el estudio Mintec, con el cual se completó el modelo de recursos. La Tabla 8 presenta la relación de ítems del modelo de recursos, sus precisiones y una breve descripción de estos:

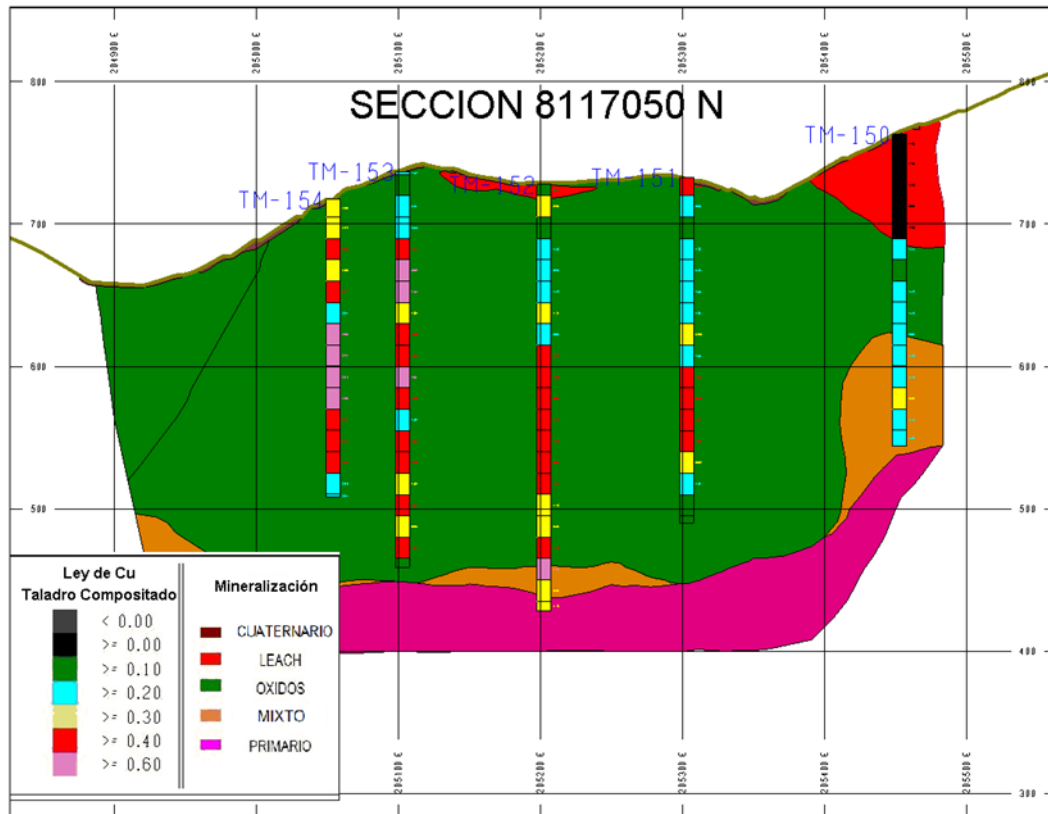
**Tabla 7***Relación de ítems del modelo de recursos Tía María*

#	ÍTEM	MÍN	MÁX	PRECISIÓN	DESCRIPCIÓN
1	TOPO	0	100	1	Topografía %
2	CUI	0	8	0.001	Cu %
3	CUSS	0	8	0.001	Cu % soluble en ácido
4	CUCN	0	4	0.001	Cu % soluble en cianuro
5	CUR	-1	4	0.001	Cu % residual
6	MO	0	0.4	0.0001	Mo %
7	AUPPM	0	13	0.0001	Oro ppm
8	AGPPM	0	20	0.01	Ag ppm
9	PBPPM	0	600	0.1	Pb ppm
10	ZNPPM	0	1000	1	Zn ppm
11	BIPPM	0	1000	1	Bi ppm
12	ASPPM	0	600	0.1	As ppm
13	SBPPM	0	300	0.1	Sb ppm
14	FE	0	80	0.01	Fe %
15	LIT	0	500	1	Litología
16	ALT	0	500	1	Alteración
17	MIN	0	500	1	Mineralización
18	CLASS	0	5	1	Categoría
19	DOMN	0	5	1	Dominio geológico
20	SG1	0	5	0.01	Gravedad específica

Fuente: Reporte Recursos & Reservas 2011, Planes de minado

**Figura 4**

Sección E-O 8'117,050 N del modelo Tía María



Fuente: Reporte Recursos & Reservas 2011, Planes de minado

### 3.1.3 Modelo geotécnico

#### Sectorización geotécnica La Tapada

En el caso del depósito La Tapada, la evaluación de la estabilidad de la pared final del tajo de óxidos ha sido desarrollada por la compañía Vector, que ha recomendado el diseño de los ángulos de talud inter-rampa de acuerdo con una sectorización vertical a través del ámbito del depósito.

Los ángulos de talud final recomendados dependen de los siguientes factores:

- Dominios geo-mecánicos dependientes del tipo de roca y comportamiento estructural.
- Azimut (dirección) de la pared final del tajo.

El área del yacimiento se dividió en dos dominios geo-mecánicos, denominados Sectores Norte y Sur en base al grado de fracturamiento, por ser este un parámetro representativo que distingue claramente estas zonas; la posible presencia de una zona de

fallamiento en la zona Sur sería la causa de que los valores de RQD sean menores respecto a la zona Norte.

**Tabla 8**

*Dominios geo-mecánicos tajo La Tapada*

DOMINIO	DESCRIPCIÓN
Norte	Litología diorita y gneiss con mayor RQD
Sur	Litología diorita y gneiss con menor RQD

Fuente: Estudio de Factibilidad Proyecto Tía María 2012, Sección 8.

**Tabla 9**

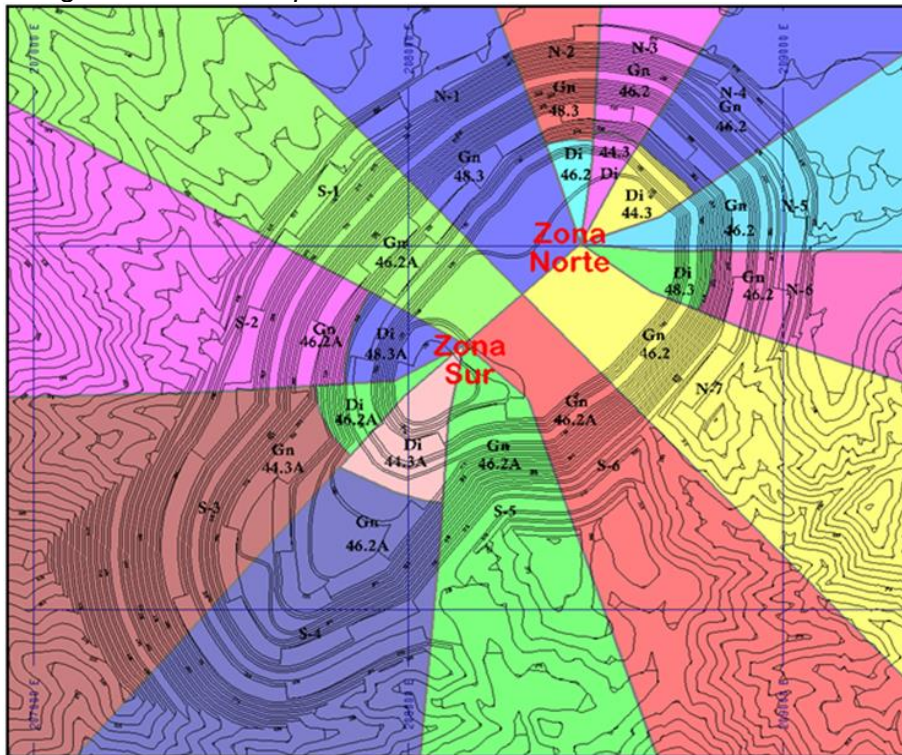
*Ángulos del tajo La Tapada por zona geotécnica*

SECTOR	SUB SECTOR	LITOLOGÍA	ÁNGULO IRA	ÁNGULO OVERALL	
Norte	N-1	Gneiss	48.3	42	
	N-2	Diorita	46.2	41	
	N-2	Gneiss	48.3	41	
	N-3	Diorita	44.3	41	
	N-3	Gneiss	46.2	41	
	N-4	Diorita	44.3	39	
	N-4	Gneiss	46.2	39	
	N-5	Gneiss	46.2	39	
	N-6	Diorita	48.3	40	
	N-6	Gneiss	46.2	40	
	N-7	Gneiss	46.2	43	
	Sur	S-1	Gneiss	46.2	37
		S-2	Diorita	48.3	38
S-2		Gneiss	46.2	38	
S-3		Diorita	46.2	40	
S-3		Gneiss	44.3	40	
S-4		Diorita	44.3	33	
S-4		Gneiss	46.2	33	
S-5		Gneiss	46.2	45	
S-6		Gneiss	46.2	44	

Fuente: Estudio de Factibilidad Proyecto Tía María 2012, Sección 8.

**Figura 5**

*Sectorización geotécnica “La Tapada”*



Fuente: Estudio de Factibilidad Proyecto Tía María 2012, Sección 8

**Sectorización geotécnica Tía María**

Para el tajo Tía María se consideró los subsectores planteados por Vector del estudio de Diseño de Taludes.

**Tabla 10**

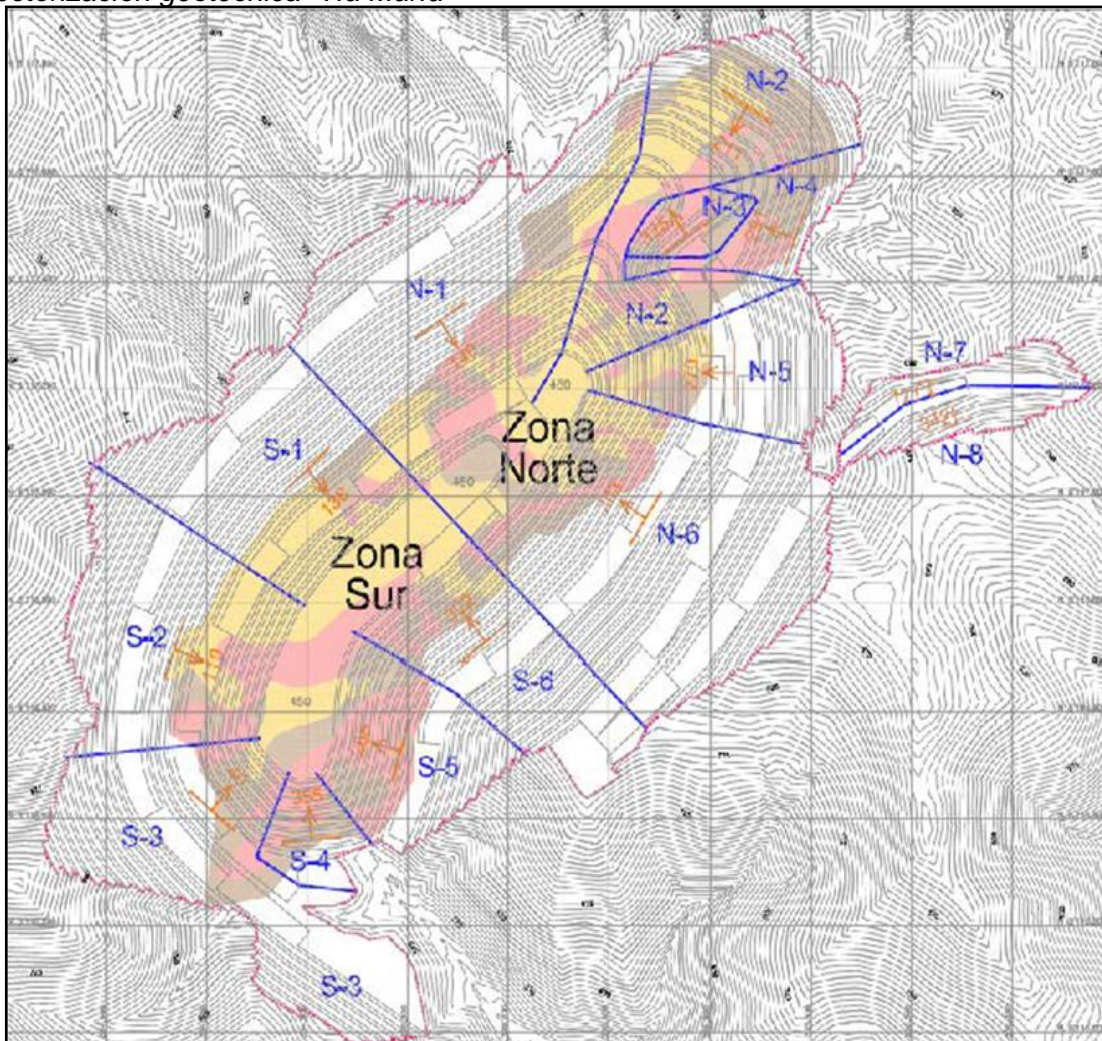
*Ángulo del tajo Tía María por zona geotécnica*

SECTOR	SUB SECTOR	ÁNGULO IRA	ÁNGULO OVERALL
Norte	N-1	44	41
	N-2	42	37
	N-3	48	43
	N-4	46	38
	N-5	44	39
	N-6	46	39
	N-8	48	44
	Sur	S-1-2	42
S-3		44	42
S-4		42	44
S-5-6		44	38
S-7		50	43

Fuente: Estudio de Factibilidad Proyecto Tía María 2012, Sección 8.

**Figura 6**

*Sectorización geotécnica "Tía María"*



Fuente: Estudio de Factibilidad Proyecto Tía María 2012, Sección 8

### **3.1.4 Modelo metalúrgico**

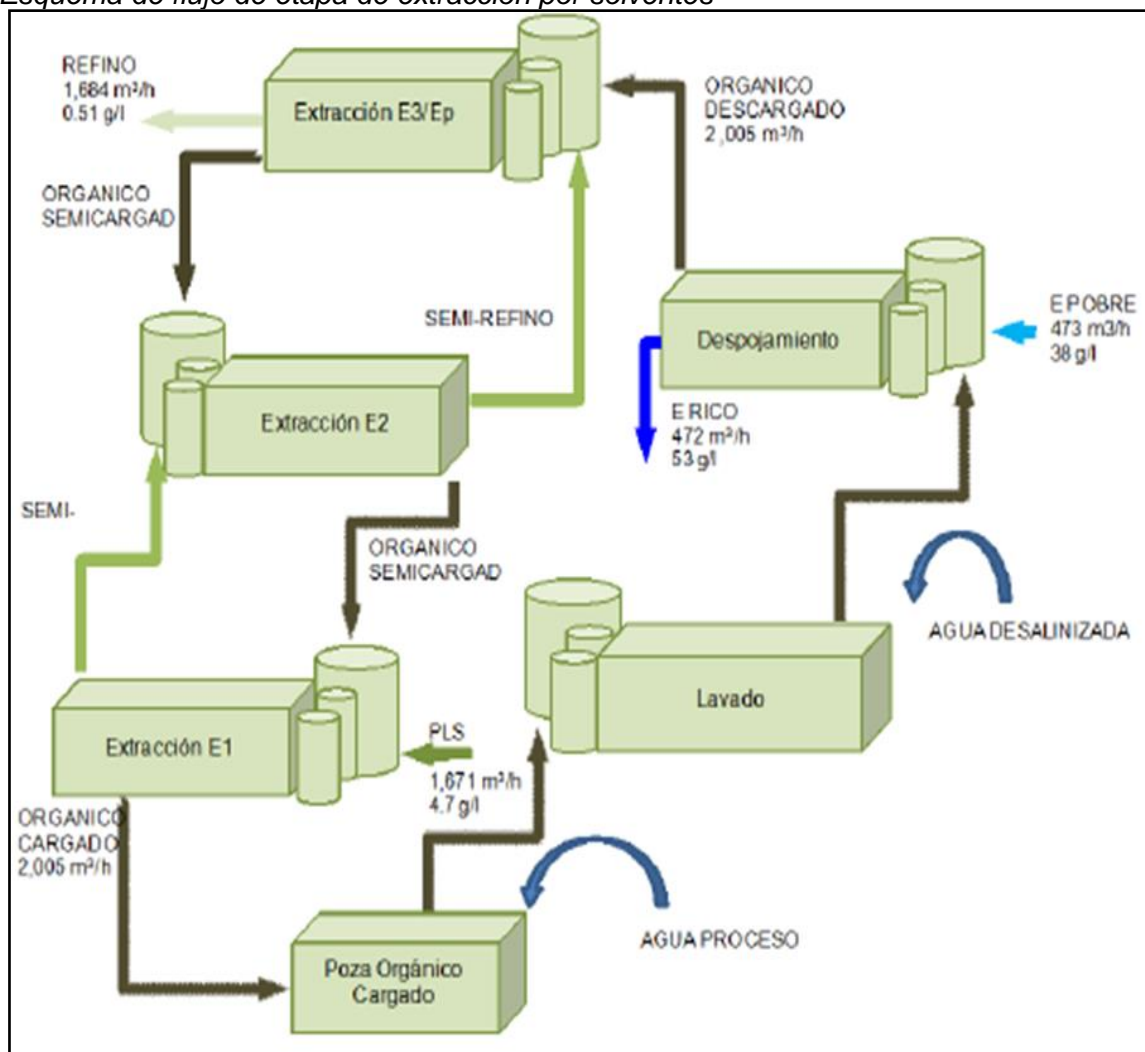
La lixiviación del mineral curado se hará sobre una pila de lixiviación dinámica (ON - OFF) en dos etapas de riego, una con solución de refino proveniente de la etapa de extracción por solventes y otra con solución ILS producto del riego con solución refino. La solución drenada de la pila de lixiviación será recuperada por el piso de esta, mediante tubería Drenaflex. Todas las soluciones percoladas o PLS se reportarán en una poza desarenadora y desde allí, por rebose, hacia la poza principal de PLS o solución de lixiviación. Desde este punto será enviada por gravedad hacia cada uno de los trenes de Extracción por Solventes (ES).

Por otra parte, se ha estimado una humedad de la pila de lixiviación dinámica de 12.5 %, y una humedad de diseño del ripio drenado entre 8 a 9% (notar que el criterio de diseño establece una diferencia entre ambas humedades de 2.5 puntos porcentuales).

La recuperación de cobre total establecida para los minerales de La Tapada y Tía María se ha supuesto igual a 69 y 65 % respectivamente; por tanto, la solución de lixiviación PLS drenada de la pila de lixiviación presentará del orden de 4.7 g/L Cu+2, 88 a 9 g/L H2SO4 libre y 5.0 g/L de cloruros, con un pH esperado de 1.8.

**Figura 7**

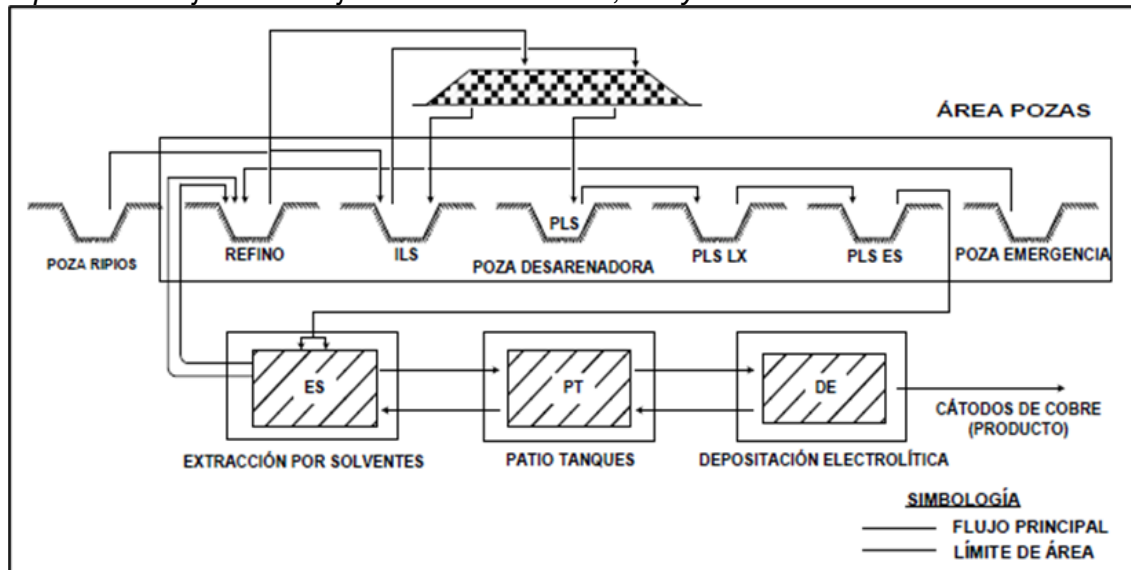
*Esquema de flujo de etapa de extracción por solventes*



Fuente: Estudio de Factibilidad Proyecto Tía María 2012, Sección 9.

**Figura 8**

Esquema de flujo de manejo de soluciones PLS, ILS y Refino



Fuente: Estudio de Factibilidad Proyecto Tía María 2012, Sección 9.

### 3.1.5 Modelo económico

**Costo de capital:**

**Tabla 11**

Estimación del CAPEX.

ÁREA	TOTAL MUS\$
<b>Costo Directo</b>	<b>1,145.8</b>
Área Mina	193.7
Área Seca	443.6
Área Húmeda	212.4
Área Facilidades	296.0
<b>Costo Indirecto</b>	<b>244.2</b>
Costos indirectos de constractistas	82.3
Servicio de gerenciamiento - EPCM	98.5
Fletes y derechos de importación	39.1
Otros costos indirectos	24.2
<b>Estimación CAPEX</b>	<b>1,389.9</b>
Costo de propietario y contingencias	82.1
<b>Estimación Total CAPEX</b>	<b>1,472.0</b>

Fuente: Estudio de Factibilidad Proyecto Tía María 2012, Sección 13.

## Costo de operación:

**Tabla 12**

*Resumen de costos de mina por actividad*

ACTIVIDAD	UNIDAD	COSTO UNITARIO
Perforación	US\$/TM	0.03
Voladura	US\$/TM	0.11
Carguío	US\$/TM	0.08
Acarreo	US\$/TM	0.37
Caminos y Botaderos	US\$/TM	0.08
Costos Generales	US\$/TM	0.07
Sub-Total	US\$/TM	0.73
Costos Indirectos*	US\$/TM	0.07
Costo Total (Dir.+Indir.)	US\$/TM	0.81

Fuente: Reporte Recursos&Reservas2011, Costos Operativos Mina PTM.

**Tabla 13**

*Resumen de Costos de planta por actividad, La Tapada*

ÁREA SECA		
Actividad	Unidad	Costo Unitario
General, Administración y Supervisión	US\$ / t mineral	0.11
Chancado Grueso & Fajas sobre terreno	US\$ / t mineral	0.53
Chancado Secundario	US\$ / t mineral	0.12
Chancado Terciario	US\$ / t mineral	0.18
Curado y Aglomerado	US\$ / t mineral	0.69
Manejo de Materiales Pilas & Ripios	US\$ / t mineral	0.65
Costo Total	US\$ / t mineral	2.28
ÁREA HÚMEDA		
Actividad	Unidad	Costo Unitario
General, Administración y Supervisión	US\$ / lb Cu	0.01
Manejo de soluciones de Lixiviación	US\$ / lb Cu	0.01
Extracción por Solventes	US\$ / lb Cu	0.02
Patio de Tanques	US\$ / lb Cu	0.01
Deposición Electrolítica	US\$ / lb Cu	0.13
Servicios Generales	US\$ / lb Cu	0.00
Costo Total	US\$ / lb Cu	0.18

Fuente: Reporte Recursos & Reservas 2011, Costos Operativos Mina PTM.

**Tabla 14***Resumen de costos de planta por actividad, Tía María*

<b>ÁREA SECA</b>		
<b>Actividad</b>	<b>Unidad</b>	<b>Costo Unitario</b>
General, Administración y Supervisión	US\$ / t mineral	0.11
Chancado Grueso & Fajas sobre terreno	US\$ / t mineral	0.38
Chancado Secundario	US\$ / t mineral	0.12
Chancado Terciario	US\$ / t mineral	0.18
Curado y Aglomerado	US\$ / t mineral	0.69
Manejo de Materiales Pilas & Ripios	US\$ / t mineral	0.65
<b>Costo Total</b>	<b>US\$ / t mineral</b>	<b>2.13</b>
<b>ÁREA HÚMEDA</b>		
<b>Actividad</b>	<b>Unidad</b>	<b>Costo Unitario</b>
General, Administración y Supervisión	US\$ / lb Cu	0.01
Manejo de soluciones de Lixiviación	US\$ / lb Cu	0.01
Extracción por Solventes	US\$ / lb Cu	0.02
Patio de Tanques	US\$ / lb Cu	0.01
Deposición Electrolítica	US\$ / lb Cu	0.13
Servicios Generales	US\$ / lb Cu	0.00
<b>Costo Total</b>	<b>US\$ / lb Cu</b>	<b>0.18</b>

Fuente: Reporte Recursos&amp;Reservas2011, Costos Operativos Mina PTM.

### 3.2 Procesamiento de la información

#### 3.2.1 Modelo de bloques

El proyecto tiene 2 modelos de bloques generados en los diferentes depósitos de mineral, los cuales consideran diferentes códigos, por ello se ha generado un solo nuevo proyecto con ambos modelos de bloques y codificación de variables único con el objetivo de realizar evaluaciones multipit, lo cual genera un análisis completo de todo del proyecto minero. A continuación, se muestra los nuevos límites y codificación de variables del modelo de bloques:

**Tabla 15***Límites de modelo de recursos proyecto Tía María*

	<b>MÍNIMO</b>	<b>MÁXIMO</b>	<b>BLOQUE</b>	<b>CANTIDAD</b>
Este	204,100	209,500	432	204,100
Norte	8,113,400	8,118,200	384	8,113,400
Elevación	-330	1,200	102	-330
<b>Total de Bloques</b>				<b>16,9220,576</b>

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 16***Descripción de variables de modelo de bloques*

ITEM	MÍN.	MÁX.	PREC.	DESCRIPCIÓN
TOPO	0	100	0.001	Topografía en %
TON	0	10,000	0.1	Tonelaje
CU	0	4	0.001	Ley de cobre
CUSAC	0	4	0.001	Cobre soluble en ácido en %
CUSCN	0	4	0.001	Cobre soluble en cianuro en %
CUR	0	2	0.001	Cobre residual en %
AU	0	4	0.0001	Ley de oro en ppm
LIT	0	500	1	Litología
ALT	0	500	1	Alteración
MIN	0	500	1	Mineralización
SG	0	5	0.01	Densidad t/m <sup>3</sup>
CLASS	0	5	1	Categoría
PIT	0	2	1	PIT: 1 = TP / 2 = TM
ISCUS	0	2	0.001	Solubilidad en ácido CUSAC/CU
ISCUC	0	2	0.001	Solubilidad en cianuro CUSCN/CU
ISCUT	0	2	0.001	ISCUT=(CUSAC+CUSCN)/CU
IRA	0	100	0.1	Ángulo interrampa
OVR	0	100	0.1	Ángulo global
ZGOT	0	20	1	Zona geotécnica
BENCH	0	100	1	BENCH 1= 645 / 66 = -330
ZONE	0	10	1	
ZONE2	0	10	1	
INC	0	1	0.001	Costo Incremental de acarreo
REC	0	100	0.01	Recuperación de Cu %
CUMET	0	300,000	0.01	Cu fino en Lb
VAL2	-50,000	1,500,000	0.1	Val de bloque y destinos M+I
VALT2	-50,000	1,500,000	0.1	Val de bloque \$/t y destinos M+I
DES2	0	5	1	1 : Lech + Ox, 2 : Prim, 3 : Desm

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 17***Descripción de la variable litología*

	LITOLÓGÍA	LIT
	Moquegua	11
	Metasedimentos	12
	Microdiorita	13
La Tapada	Porfido	14
	Dio-Horn	16
	Gneis	17
	Dio-Porf	19
	Cuaternario	21
Tia María	Diorita	22
	Gneis	23
	Pórfido	24

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 18***Descripción de la variable alteración*

	<b>ALTERACIÓN</b>	<b>ALT</b>
	Moquegua	10
	Propilítica	11
La Tapada	Argílica	12
	Fílica	13
	Potásica	14
	Silicífica	15
	Argílico	21
Tia María	Cuaternario	22
	Fílico	23
	Potásico	24
	Propilítico	25
	Silisificación	26

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 19***Descripción de la variable mineralización*

	<b>MINERALIZACIÓN</b>	<b>MIN</b>
	Moquegua	10
	Leach	11
La Tapada	Óxido	12
	Enriquecido	14
	Primario	16
	Cuaternario	21
	Lixiviado	22
Tia María	Óxido	23
	Primario	24
	Mixto	25

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 20***Descripción de la variable class*

	<b>CLASIFICACIÓN</b>	<b>CLASS</b>
	Medido	1
	Indicado	2
	Inferido	3
	Potencial	4
	Other	5

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 21***Descripción de la variable destino*

ZONAS	DES2
Lixiviado	1
Sulfuro	2
Desmonte	3

Fuente: Elaboración propia

**3.2.2 Análisis estadístico de variables**

Se ha realizado una revisión estadística de los ítems de tonelaje, densidad, leyes y solubilidades del modelo de bloques generado para ambos yacimientos. Para ello se procesó la información completa y luego por tipo de mineralización económica. Se ha elaborado histogramas con un ajuste de función de distribución de probabilidad, correlaciones de ley y se reportaron las principales medidas de dispersión. Para esta revisión se empleó las herramientas del software Minitab.

Las estadísticas del modelo se desarrollaron sobre las variables:

- Ton: Tonelaje del bloque en t
- SG: Densidad del bloque en t/m<sup>3</sup>
- Cu: Ley de cobre en %
- CuSAC: Ley de cobre soluble en ácido en %
- CuSCN: Ley de cobre soluble en cianuro en %
- CUR: Ley de cobre residual en %
- Au: Ley de oro en ppm

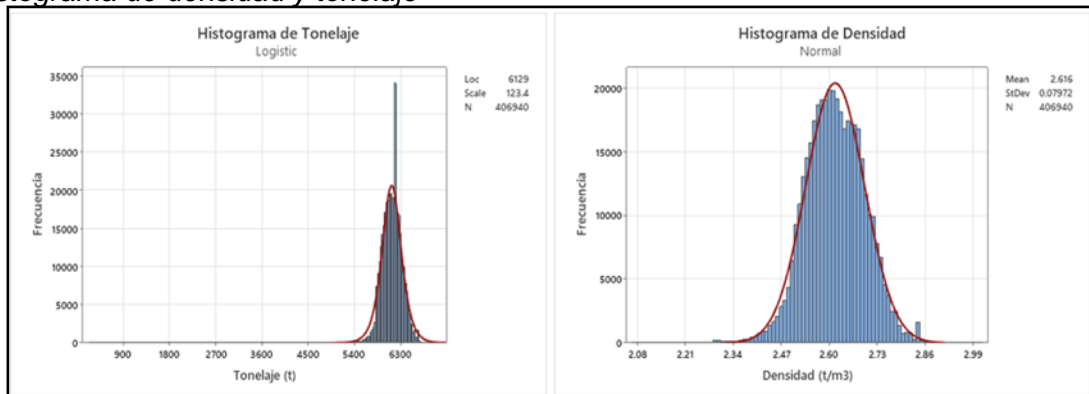
**Tabla 22***Estadísticas del modelo de bloques*

VARIABLE	UNIDAD	MEAN	DESV. STD	MÍNIMO	MÁXIMO	Q1	MEDIA	Q3
Ton	t	6,107	331	251	7,055	6,000	6,117	6,258
SG	t/m <sup>3</sup>	2.62	0.08	2.07	3.01	2.56	2.61	2.67
Cu	%	0.27	0.19	0.00	2.44	0.12	0.25	0.41
CuSAC	%	0.08	0.12	0.00	2.02	0.01	0.02	0.11
CuSCN	%	0.03	0.05	0.00	0.80	0.01	0.02	0.04
CuR	%	0.16	0.14	0.00	1.20	0.05	0.11	0.22
Au	Ppm	0.11	0.10	0.00	3.11	0.04	0.09	0.15

Fuente: Elaboración propia

**Figura 9**

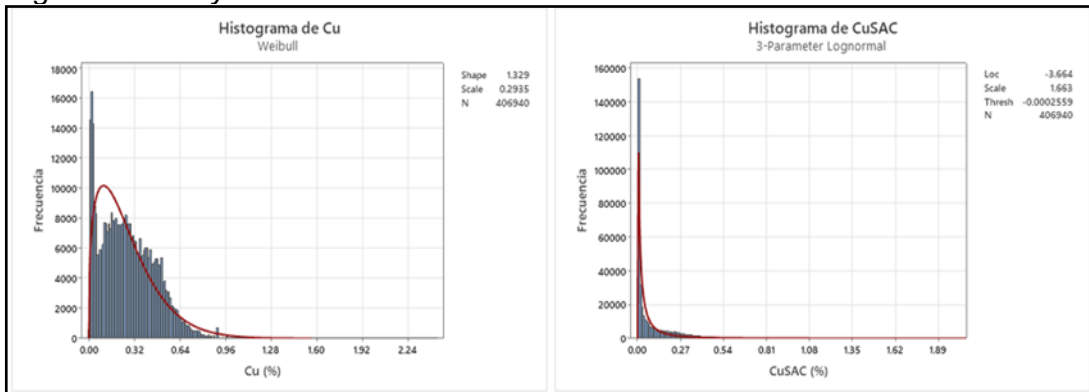
*Histograma de densidad y tonelaje*



Fuente: Elaboración propia

**Figura 10**

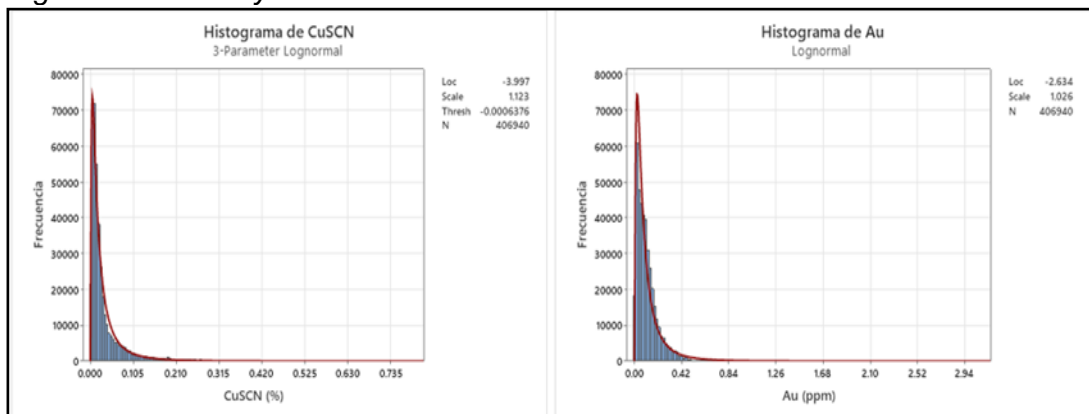
*Histograma de Cu y CuSAC*



Fuente: Elaboración propia

**Figura 11**

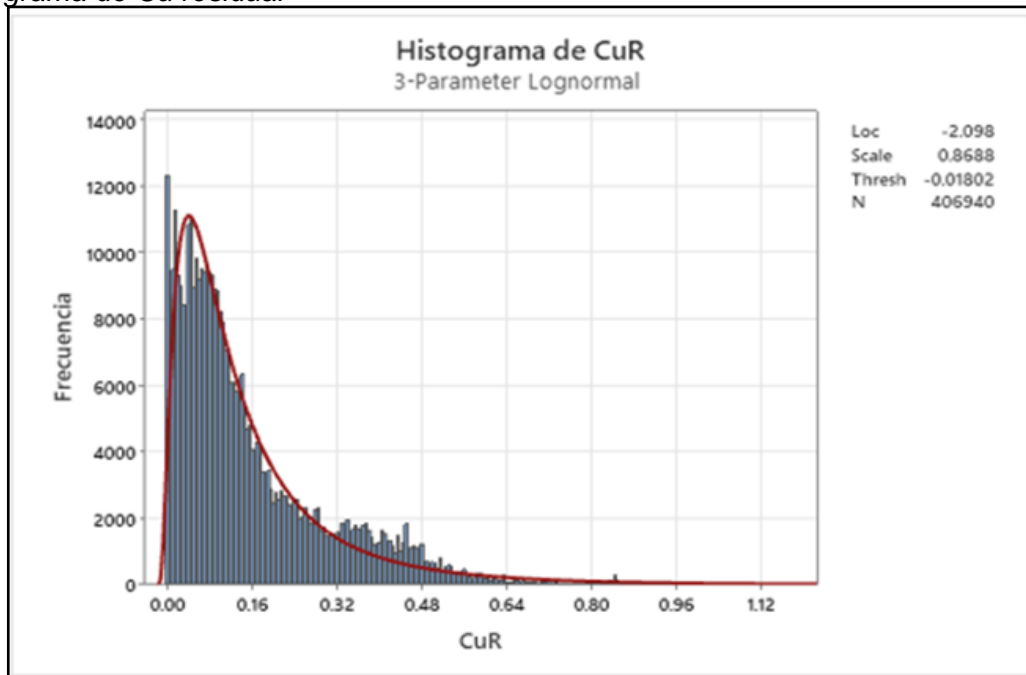
*Histograma de CuCN y Au.*



Fuente: Elaboración propia.

**Figura 12**

*Histograma de Cu residual*

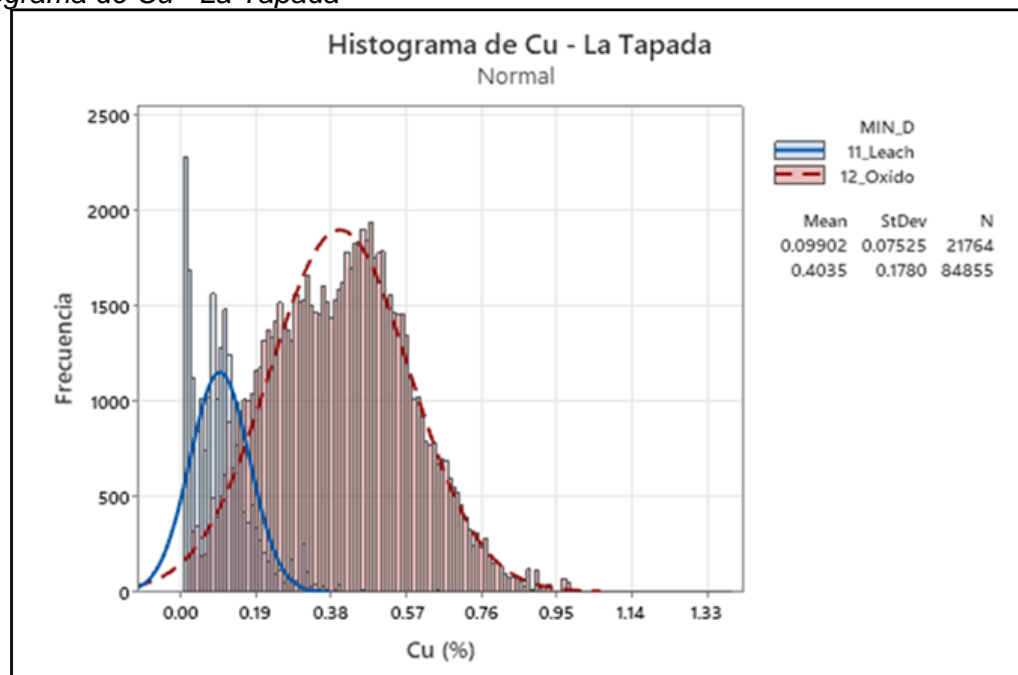


Fuente: Elaboración propia

Luego de generar las medidas de dispersión se ha realizado un análisis de leyes de Cu (%) en cada yacimiento con el objetivo de evaluar la distribución de leyes por tipo de mineralización en cada yacimiento, los resultados a continuación:

**Figura 13**

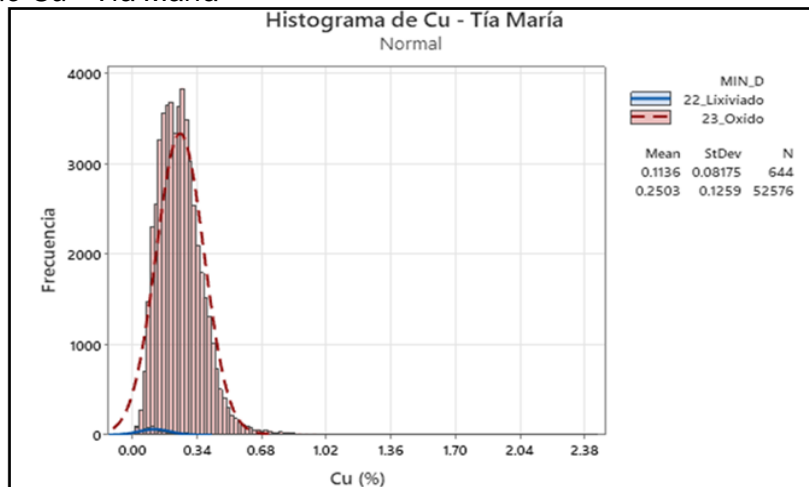
*Histograma de Cu - La Tapada*



Fuente: Elaboración propia.

**Figura 14**

*Histograma de Cu - Tía María*



Fuente: Elaboración propia

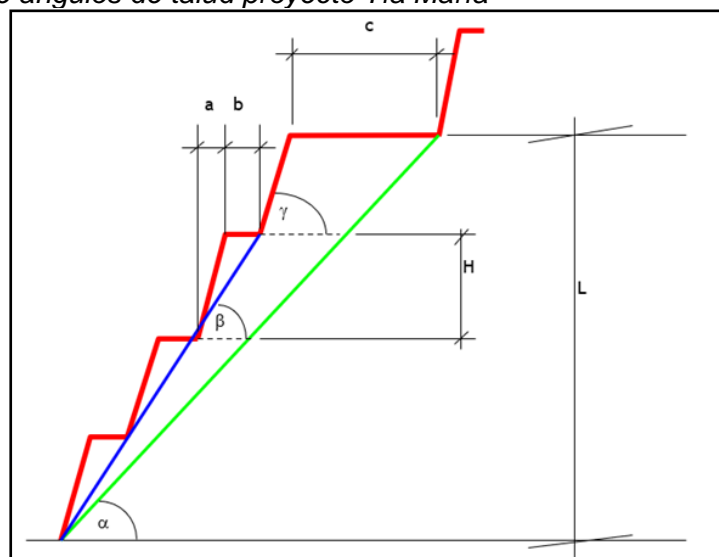
De los gráficos mostrados en la parte superior se observa que las leyes del yacimiento “La Tapada” son mayores a las del yacimiento “Tía María”, es decir la probabilidad de minar primero el yacimiento “La Tapada” son mayores, esto se debe evaluar durante la secuencia de minado.

### **3.2.3 Modelo geotécnico**

En base a los estudios previos para los yacimientos La Tapada y Tía María se ha generado una única configuración de taludes para ambos yacimientos con el objetivo de realizar un solo proceso de optimización multipit.

**Figura 15**

*Configuración de ángulos de talud proyecto Tía María*



Fuente: Elaboración propia

Donde:

$\alpha^\circ$  = Ángulo Global (OV)

$\beta^\circ$  = Ángulo Interrampa (IR)

$\gamma^\circ$  = Ángulo Cara de Banco (CB)

a (m) = Rotura

b (m) = Berma de banco

c (m) = Berma de seguridad o Ancho de desacople

H (m) = Altura de banco

L (m) = Altura de desacople

**Tabla 23**

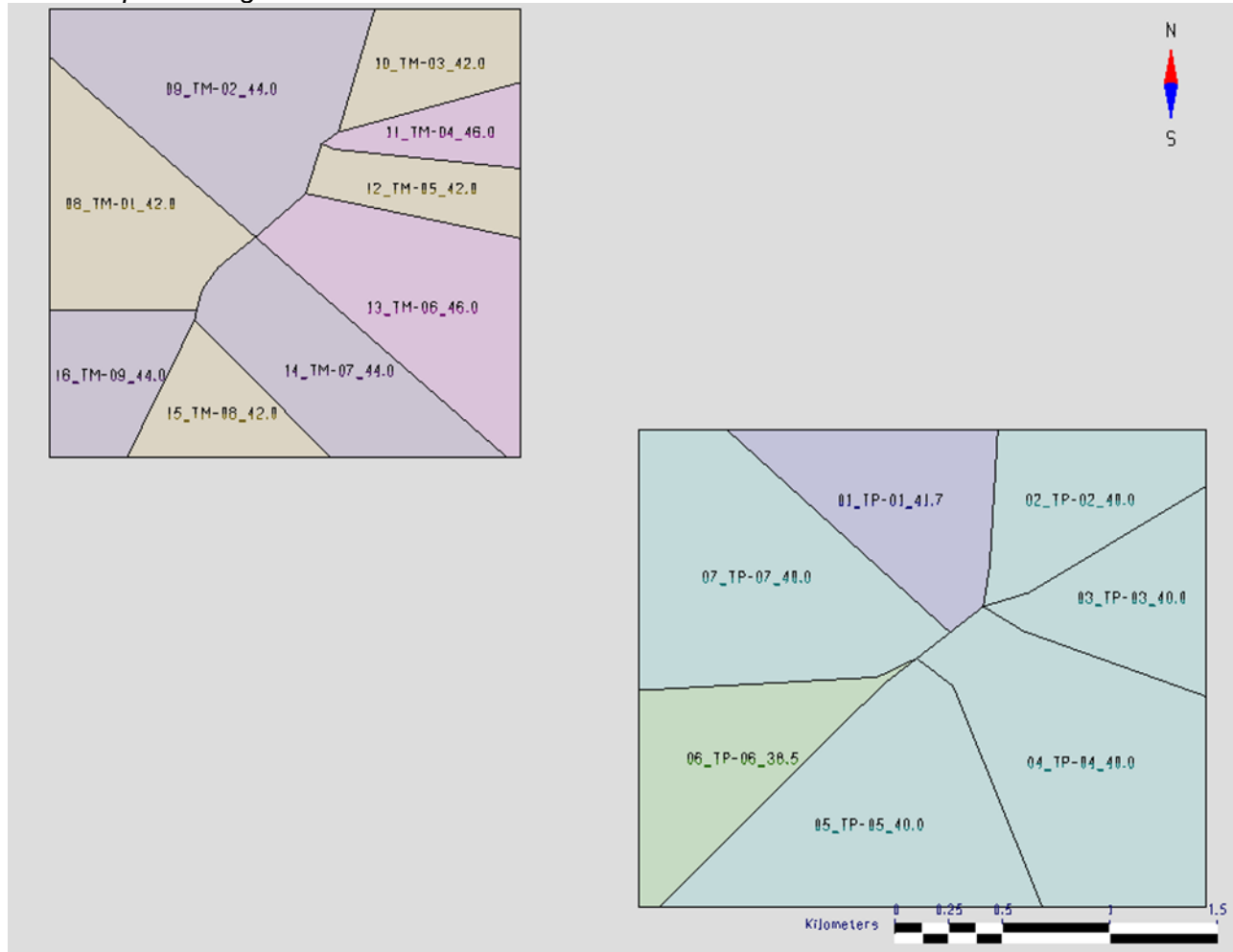
*Ángulo del proyecto Tía María por zona geotécnica*

SECTOR	SUBSECTOR	TALUD INTERRAMPA				TALUD GLOBAL (TEÓRICO)			
		Ángulo IR $\beta$ (°)	Ángulo CB $\gamma$ (°)	Altura Banco H (m)	Rotura a (m)	Berma b (m)	B. Seguridad c (m)	Desacople L (m)	Ángulo Global $\alpha$ (°)
La Tapada	TP-01	48.3	65.0	15.0	7.0	6.4	35.0	150	41.7
	TP-02	46.2	65.0	15.0	7.0	7.4	35.0	150	40.0
	TP-03	46.2	65.0	15.0	7.0	7.4	35.0	150	40.0
	TP-04	46.2	65.0	15.0	7.0	7.4	35.0	150	40.0
	TP-05	46.2	65.0	15.0	7.0	7.4	35.0	150	40.0
	TP-06	44.3	65.0	15.0	7.0	8.4	35.0	150	38.5
	TP-07	46.2	65.0	15.0	7.0	7.4	35.0	150	40.0
Tía María	TM-01	42.0	65.0	15.0	7.0	9.7	35.0	150	36.7
	TM-02	44.0	65.0	15.0	7.0	8.5	35.0	150	38.2
	TM-03	42.0	65.0	15.0	7.0	9.7	35.0	150	36.7
	TM-04	46.0	65.0	15.0	7.0	7.5	35.0	150	39.8
	TM-05	42.0	65.0	15.0	7.0	9.7	35.0	150	36.7
	TM-06	46.0	65.0	15.0	7.0	7.5	35.0	150	39.8
	TM-07	44.0	65.0	15.0	7.0	8.5	35.0	150	38.2
	TM-08	42.0	65.0	15.0	7.0	9.7	35.0	150	36.7
	TM-09	44.0	65.0	15.0	7.0	8.5	35.0	150	38.2

Fuente: Elaboración propia

**Figura 16**

*Ángulo del proyecto Tía María por zona geotécnica*



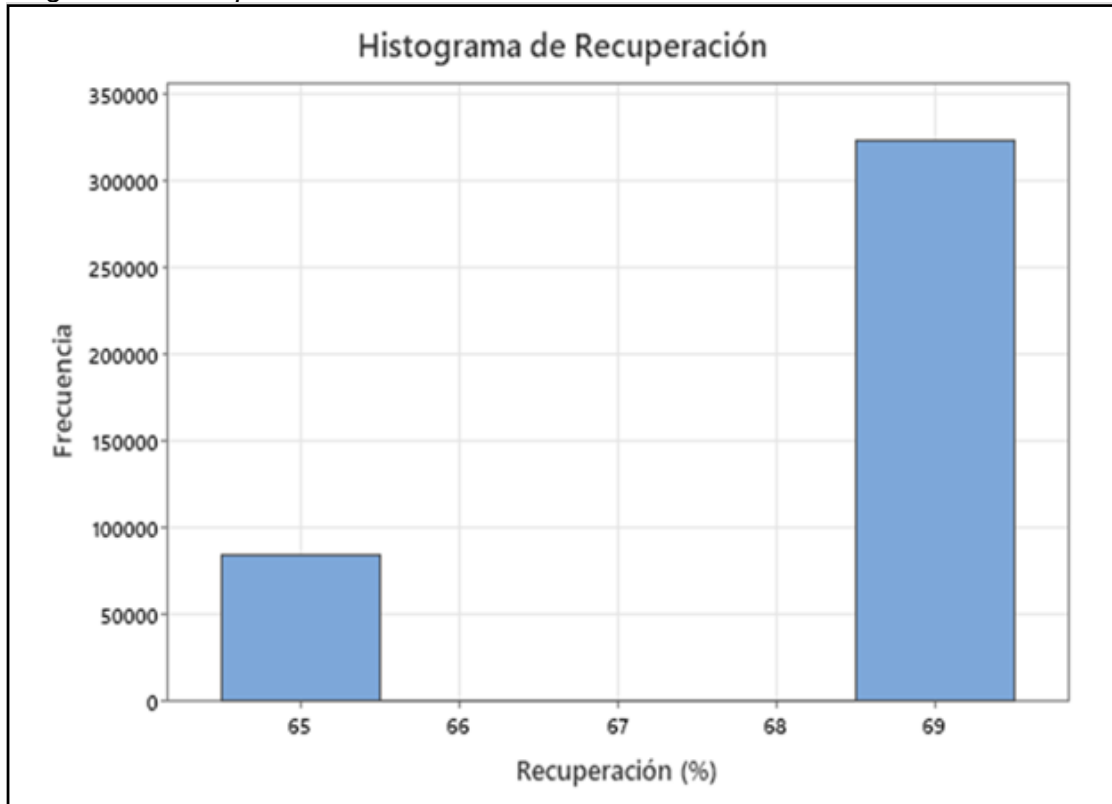
Fuente: Elaboración propia

### 3.2.4 Modelo metalúrgico

Luego de realizar ensayos en laboratorio el estudio de base factibilidad ha considerado una recuperación constante y diferente para cada depósito de mineral, siendo la recuperación de “La Tapada” 69% y de “Tía María” 65%.

**Figura 17**

*Histograma de recuperación*



Fuente: Estudio de Factibilidad Proyecto Tía María 2012, Sección 9.

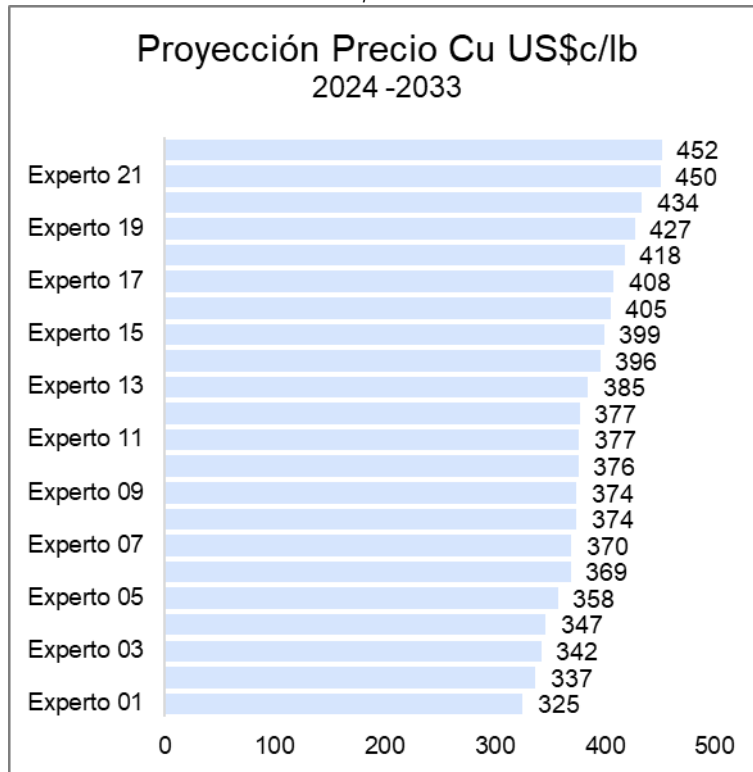
### 3.2.5 Modelo económico

Para el Precio de Cu proyectado, la estimación de precio se ha utilizado los resultados del comité consultivo de precio de referencia del Cobre 2022, este cálculo considera la propuesta de 22 expertos y la metodología utilizada para poder brindar una estimación.

A continuación, se muestra la tabla con los precios proyectados:

**Figura 18**

*Promedio de precios de Cu 2024-2033 US\$/lb.*



Fuente: Resultados del Comité Consultivo del Precio de Referencia del Cobre 2024, Santiago 30-08-2023.

**Tabla 24**

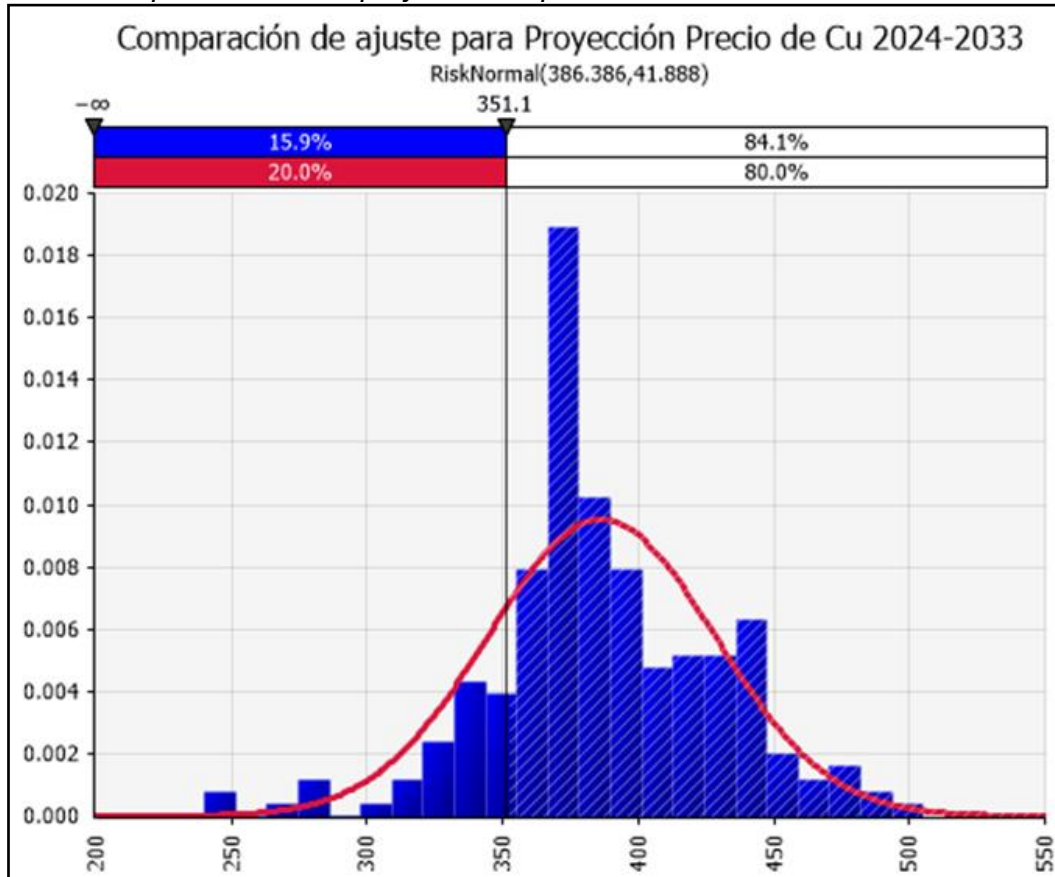
*Proyección del precio de Cu US\$/lb.*

EXPERTOS	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	PROMEDIO US\$/ c/lb
1. Rafael Aldunate Valdés	380	245	240	282	415	452	398	286	280	274	325
2. Bernardita Arce Escobar	361	345	343	346	335	338	325	325	331	325	337
3. Jorge Iván Cantallopts Araya	367	362	358	353	347	340	334	328	320	313	342
4. Jaime Casassus Vargas	372	382	385	357	330	305	337	341	342	316	347
5. Gonzalo Sanchez Clarke	365	343	346	350	353	357	360	364	368	371	358
6. Luis Arturo Díaz Correa	382	391	378	377	347	358	363	368	367	360	369
7. Macarena Teresa García Aspillaga	392	379	366	366	366	366	366	366	366	366	370
8. Alfonso Rafael González Zamorano	370	380	380	378	373	371	372	372	373	374	374
9. Carolina Grünwald Novoa	374	373	382	383	373	374	375	374	369	367	374
10. Juan Carlos Guajardo Beltrán	386	379	374	376	372	373	374	374	374	376	376
11. Juan Ignacio Guzmán Barros	385	380	385	395	370	370	370	370	370	370	377
12. Erwin Guillermo Hansen Silva	375	375	384	385	375	378	379	378	373	371	377
13. Felipe Hernán Jaque Sarro	340	350	380	410	400	390	390	400	390	395	385
14. Gustavo Lagos Cruz-Coke	380	421	413	424	396	397	380	390	373	382	396
15. Álvaro Merino Lacoste	390	411	432	414	396	388	389	390	390	391	399
16. José Tomás Morel Lara	380	410	450	460	440	430	400	370	370	340	405
17. Angélica Patricia Muñoz Lagos	350	365	385	400	420	430	450	440	425	415	408
18. Ercio Andrés Muñoz Saavedra	410	411	408	407	413	418	422	426	430	433	418
19. Vivian Elizabeth Norambuena Fetis	408	413	413	414	430	437	444	447	438	429	427
20. Pablo Matías Pincheira Brown	411	432	439	436	436	436	436	436	436	436	434
21. Enrique Alejandro Silva Ramos	388	406	420	433	447	462	471	480	493	505	450
22. Claudio Andrés Valencia Montero	450	490	480	471	461	452	442	433	424	416	452

Fuente: Resultados del Comité Consultivo del Precio de Referencia del Cobre 2024, Santiago 30 de agosto 2023

**Figura 19**

*Distribución de probabilidad de proyecciones precio Cu US\$/lb.*



Fuente: Elaboración propia

Considerando un 80% de confianza en el valor alcanzado en el precio del Cu se ha considerado un precio de 3.5 US\$/lb de Cu para generar la optimización de pit y secuencia base de minado.

## Capítulo IV. Análisis e interpretación de resultados

### 4.1 Construcción de modelo CAPEX y OPEX

La definición de estos modelos se basa en el estudio de pre y factibilidad, y en la información de otros estudios similares.

Para el escalamiento de CAPEX y OPEX, se utilizó el modelo de L.D Smith:

$$Cost = Kt^x$$

Donde:

$K$  = Costo de caso base o específico

$t$  = Ratio de producción o tasa de tratamiento

$x$  = Exponente

El estudio base considera un CAPEX inicial de 1.472 MUS\$ a una tasa de procesamiento de 100 Ktpd, este monto corresponde al año 2014, por ello se ha realizado el ajuste inversión considerando la inflación de Estados Unidos entre el 2014-2024 generando un factor de 1.32, es decir la nueva inversión estimada como base es de 1,950 MUS\$.

#### Tabla 25

*Actualización de CAPEX.*

	Unidad	CAPEX
CAPEX Base	MUS\$	1,472
Factor de inflación USA	MUS\$	1.32
CAPEX Actualizado	MUS\$	1,950

Fuente: Elaboración propia

Así mismo se ha aplicado la regla de Smith para poder escalar el CAPEX a diferentes tasas de tratamiento, la tabla resumen se muestra a continuación:

**Tabla 26**

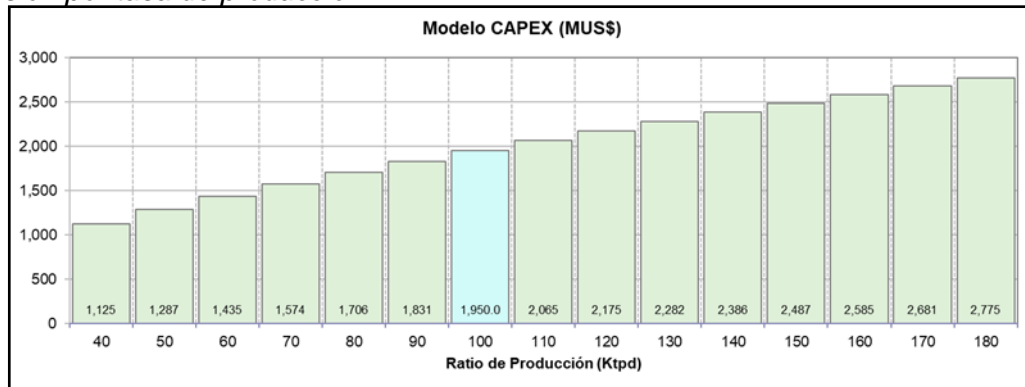
*Inversión por tasa de producción*

RATIO DE PRODUCCIÓN Ktpd	CAPITAL TOTAL MUS\$
40	1,125
50	1,287
60	1,435
70	1,574
80	1,706
90	1,831
100	1,950.0
110	2,065
120	2,175
130	2,282
140	2,386
150	2,487
160	2,585
170	2,681
180	2,775

Fuente: Elaboración propia

**Figura 20**

*Inversión por tasa de producción*



Fuente: Elaboración propia

Para la actualización del OPEX mina se ha actualizado el precio de energía de 0.070 a 0.087 KW-Hora, el precio de combustible de 2.35 a 5.60 US\$/Gal, costo de llantas de 25,000 a 40,000 US\$/Un y los costos generales de 0.07 a 0.10 US\$/t, con ello el nuevo costo minado es de 1.38 US\$/t para la tasa de procesamiento base, el resumen de los costos de minado se muestra a continuación:

**Tabla 27***Resumen de costos de mina por actividad*

<b>ACTIVIDAD</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>COSTO UNITARIO</b>
Perforación	US\$/TM	0.03
Voladura	US\$/TM	0.12
Carguío	US\$/TM	0.11
Acarreo	US\$/TM	0.75
Caminos y Botaderos	US\$/TM	0.15
Costos Generales	US\$/TM	0.10
<b>Sub-Total</b>	<b>US\$/TM</b>	<b>1.26</b>
Costos Indirectos*	US\$/TM	0.13
<b>Costo Total (Dir.+Indir.)</b>	<b>US\$/TM</b>	<b>1.38</b>

Fuente: Elaboración propia

Los costos de minado fueron escalados usando la regla de Smith para poder generar el OPEX mina a diferentes tasas de procesamiento, la tala de resultados y cuadro se muestran a continuación:

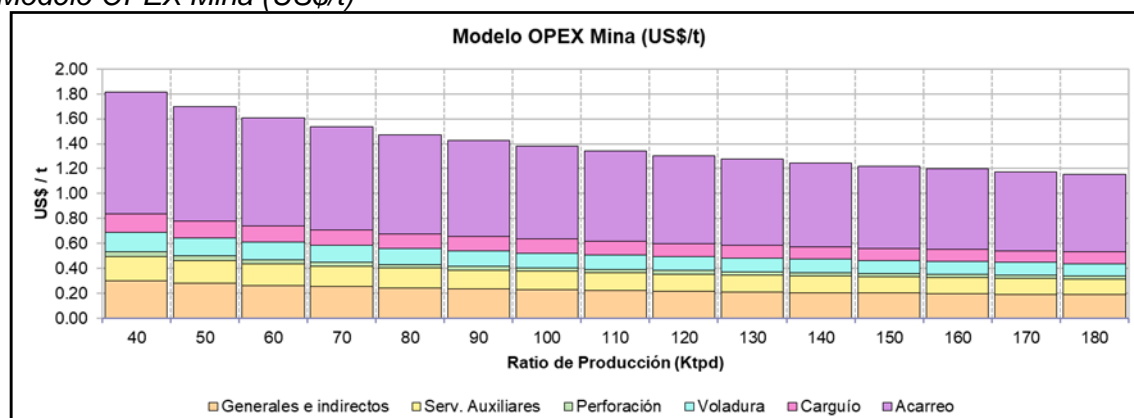
**Tabla 28***Resumen de costos de mina por tasa de procesamiento*

<b>Ratio de producción</b>	<b>Generales e indirectos</b>	<b>Serv. Auxiliares</b>	<b>Perforación</b>	<b>Voladura</b>	<b>Carguío</b>	<b>Acarreo</b>	<b>Opex Mina</b>
<b>Ktpd</b>	<b>US\$ / t</b>	<b>US\$ / t</b>	<b>US\$ / t</b>	<b>US\$ / t</b>	<b>US\$ / t</b>	<b>US\$ / t</b>	<b>US\$ / t</b>
40	0.30	0.20	0.04	0.16	0.15	0.98	1.82
50	0.28	0.18	0.04	0.15	0.14	0.92	1.70
60	0.26	0.17	0.03	0.14	0.13	0.87	1.61
70	0.25	0.17	0.03	0.13	0.12	0.83	1.53
80	0.24	0.16	0.03	0.13	0.12	0.80	1.47
90	0.23	0.15	0.03	0.12	0.11	0.77	1.42
100	0.23	0.15	0.03	0.12	0.11	0.75	1.38
110	0.22	0.14	0.03	0.12	0.11	0.72	1.34
120	0.21	0.14	0.03	0.11	0.11	0.71	1.31
130	0.21	0.14	0.03	0.11	0.10	0.69	1.27
140	0.20	0.13	0.03	0.11	0.10	0.67	1.25
150	0.20	0.13	0.03	0.11	0.10	0.66	1.22
160	0.20	0.13	0.03	0.10	0.10	0.65	1.20
170	0.19	0.13	0.03	0.10	0.09	0.64	1.18
180	0.19	0.12	0.03	0.10	0.09	0.62	1.16

Fuente: Elaboración propia

**Figura 21**

*Modelo OPEX Mina (US\$/t)*



Fuente: Elaboración propia

Para la actualización del OPEX planta se ha actualizado de manera similar a mina; el precio de energía de 0.070 a 0.087 KW-Hora, el precio de combustible de 2.35 a 5.6 US\$/Gal, costo de ácido de 40.6 a 95.0 US\$/t y los costos generales de empleados, agua desalinizada y agua de mar. El resumen de los costos de operación planta se muestra a continuación:

**Tabla 29**

*Resumen de costos de planta por actividad, La Tapada*

ÁREA SECA		
Actividad	Unidad	Costo Unitario
General, Administración y Supervisión	US\$ / t mineral	0.13
Chancado Grueso & Fajas sobre terreno	US\$ / t mineral	0.63
Chancado Secundario	US\$ / t mineral	0.15
Chancado Terciario	US\$ / t mineral	0.22
Curado y Aglomerado	US\$ / t mineral	1.50
Manejo de Materiales Pilas & Ripios	US\$ / t mineral	1.02
<b>Costo Total</b>	<b>US\$ / t mineral</b>	<b>3.65</b>
ÁREA HÚMEDA		
Actividad	Unidad	Costo Unitario
General, Administración y Supervisión	US\$ / lb Cu	0.02
Manejo de soluciones de Lixiviación	US\$ / lb Cu	0.02
Extracción por Solventes	US\$ / lb Cu	0.02
Patio de Tanques	US\$ / lb Cu	0.01
Deposición Electrolítica	US\$ / lb Cu	0.17
Servicios Generales	US\$ / lb Cu	0.00
<b>Costo Total</b>	<b>US\$ / lb Cu</b>	<b>0.23</b>

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 30***Resumen de costos de planta por actividad, Tía María*

<b>ÁREA SECA</b>		
<b>Actividad</b>	<b>Unidad</b>	<b>Costo Unitario</b>
General, Administración y Supervisión	US\$ / t mineral	0.13
Chancado Grueso & Fajas sobre terreno	US\$ / t mineral	0.44
Chancado Secundario	US\$ / t mineral	0.15
Chancado Terciario	US\$ / t mineral	0.22
Curado y Aglomerado	US\$ / t mineral	1.50
Manejo de Materiales Pilas & Ripios	US\$ / t mineral	1.02
Costo Total	US\$ / t mineral	3.46
<b>ÁREA HÚMEDA</b>		
<b>Actividad</b>	<b>Unidad</b>	<b>Costo Unitario</b>
General, Administración y Supervisión	US\$ / lb Cu	0.02
Manejo de soluciones de Lixiviación	US\$ / lb Cu	0.02
Extracción por Solventes	US\$ / lb Cu	0.02
Patio de Tanques	US\$ / lb Cu	0.01
Deposición Electrolítica	US\$ / lb Cu	0.17
Servicios Generales	US\$ / lb Cu	0.00
Costo Total	US\$ / lb Cu	0.23

Fuente: Elaboración propia

Los costos planta fueron escalados usando la regla de Smith para poder generar el OPEX planta a diferentes tasas de procesamiento, la tala de resultados y cuadro se muestran a continuación:

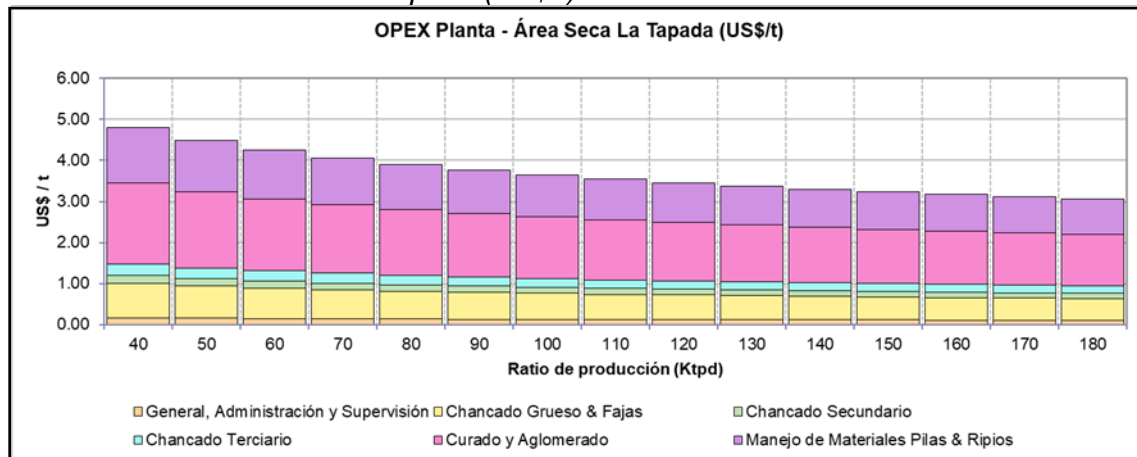
**Tabla 31***Costos de planta “La Tapada” por tasa de procesamiento (Área seca)*

Ratio de producción	General, Administración y Supervisión	Chancado Grueso & Fajas	Chancado Secundario	Chancado Terciario	Curado y Aglomerado	Manejo de Materiales Pilas & Ripios	Opex Planta Área Seca – TP
Kt/d	US\$ / t min	US\$ / t min	US\$ / t min	US\$ / t min	US\$ / t min	US\$ / t min	US\$ / t min
40	0.16	0.83	0.19	0.28	1.98	1.35	4.80
50	0.15	0.78	0.18	0.27	1.85	1.26	4.49
60	0.15	0.74	0.17	0.25	1.75	1.19	4.25
70	0.14	0.70	0.16	0.24	1.67	1.14	4.06
80	0.13	0.68	0.16	0.23	1.61	1.10	3.90
90	0.13	0.65	0.15	0.22	1.55	1.06	3.76
100	0.13	0.63	0.15	0.22	1.50	1.02	3.65
110	0.12	0.62	0.14	0.21	1.46	1.00	3.54
120	0.12	0.60	0.14	0.20	1.42	0.97	3.45
130	0.12	0.59	0.14	0.20	1.39	0.95	3.37
140	0.11	0.57	0.13	0.19	1.36	0.93	3.30
150	0.11	0.56	0.13	0.19	1.33	0.91	3.23
160	0.11	0.55	0.13	0.19	1.30	0.89	3.17
170	0.11	0.54	0.12	0.18	1.28	0.87	3.11
180	0.10	0.53	0.12	0.18	1.26	0.86	3.06

Fuente: Elaboración propia

**Figura 22**

OPEX Planta - Área seca La Tapada (US\$/t)



Fuente: Elaboración propia

**Tabla 32**

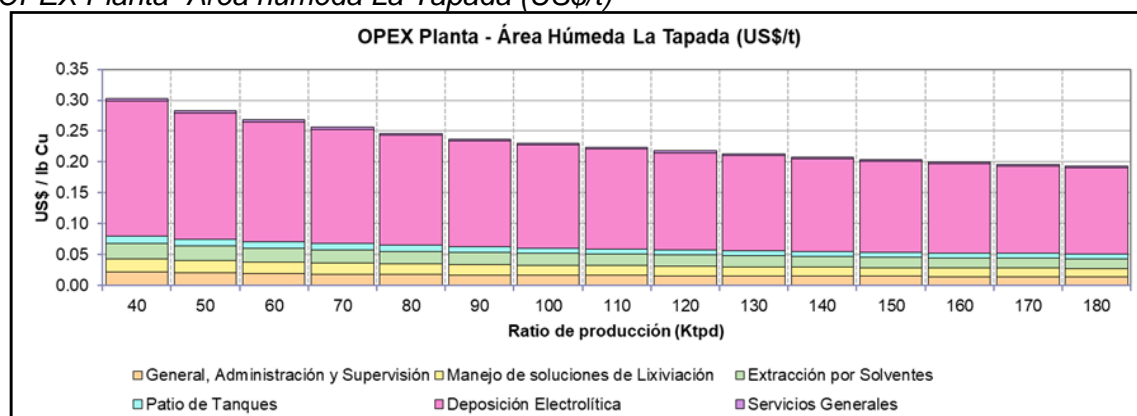
Costos de planta "La Tapada" por tasa de procesamiento (Área húmeda)

Ratio de producción	General, Administración y Supervisión	Manejo de soluciones de Lixiviación	Extracción por Solventes	Patio de Tanques	Deposición Electrolytica	Servicios Generales	Opex Planta Área Húmeda - TP
Ktpd	US\$ / lb Cu	US\$ / lb Cu	US\$ / lb Cu	US\$ / lb Cu	US\$ / lb Cu	US\$ / lb Cu	US\$ / lb Cu
40	0.02	0.02	0.03	0.01	0.22	0.00	0.30
50	0.02	0.02	0.02	0.01	0.20	0.00	0.28
60	0.02	0.02	0.02	0.01	0.19	0.00	0.27
70	0.02	0.02	0.02	0.01	0.18	0.00	0.26
80	0.02	0.02	0.02	0.01	0.18	0.00	0.25
90	0.02	0.02	0.02	0.01	0.17	0.00	0.24
100	0.02	0.02	0.02	0.01	0.17	0.00	0.230
110	0.02	0.02	0.02	0.01	0.16	0.00	0.22
120	0.02	0.02	0.02	0.01	0.16	0.00	0.22
130	0.02	0.01	0.02	0.01	0.15	0.00	0.21
140	0.02	0.01	0.02	0.01	0.15	0.00	0.21
150	0.02	0.01	0.02	0.01	0.15	0.00	0.20
160	0.01	0.01	0.02	0.01	0.14	0.00	0.20
170	0.01	0.01	0.02	0.01	0.14	0.00	0.20
180	0.01	0.01	0.02	0.01	0.14	0.00	0.19

Fuente: Elaboración propia

**Figura 23**

*OPEX Planta- Área húmeda La Tapada (US\$/t)*



Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 33**

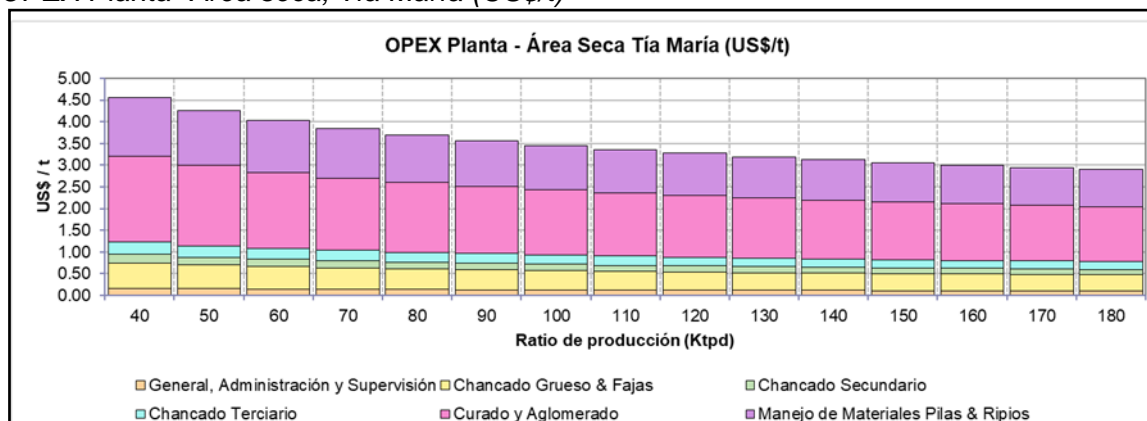
*Costos de planta "Tía María" por tasa de procesamiento (Área seca)*

Ratio de producción	General, Administración y Supervisión	Chancado Grueso & Fajas	Chancado Secundario	Chancado Terciario	Curado y Aglomerado	Manejo de Materiales Pilas & Ripios	Opex Planta Área Seca - TM
Ktpd	US\$ / t min	US\$ / t min	US\$ / t min	US\$ / t min	US\$ / t min	US\$ / t min	US\$ / t min
40	0.16	0.58	0.19	0.28	1.98	1.35	4.55
50	0.15	0.55	0.18	0.27	1.85	1.26	4.26
60	0.15	0.52	0.17	0.25	1.75	1.19	4.03
70	0.14	0.49	0.16	0.24	1.67	1.14	3.85
80	0.13	0.47	0.16	0.23	1.61	1.10	3.70
90	0.13	0.46	0.15	0.22	1.55	1.06	3.57
100	0.13	0.44	0.15	0.22	1.50	1.02	3.46
110	0.12	0.43	0.14	0.21	1.46	1.00	3.36
120	0.12	0.42	0.14	0.20	1.42	0.97	3.27
130	0.12	0.41	0.14	0.20	1.39	0.95	3.20
140	0.11	0.40	0.13	0.19	1.36	0.93	3.12
150	0.11	0.39	0.13	0.19	1.33	0.91	3.06
160	0.11	0.38	0.13	0.19	1.30	0.89	3.00
170	0.11	0.38	0.12	0.18	1.28	0.87	2.95
180	0.10	0.37	0.12	0.18	1.26	0.86	2.90

Fuente: Elaboración propia

**Figura 24**

OPEX Planta- Área seca, Tía María (US\$/t)



Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 34**

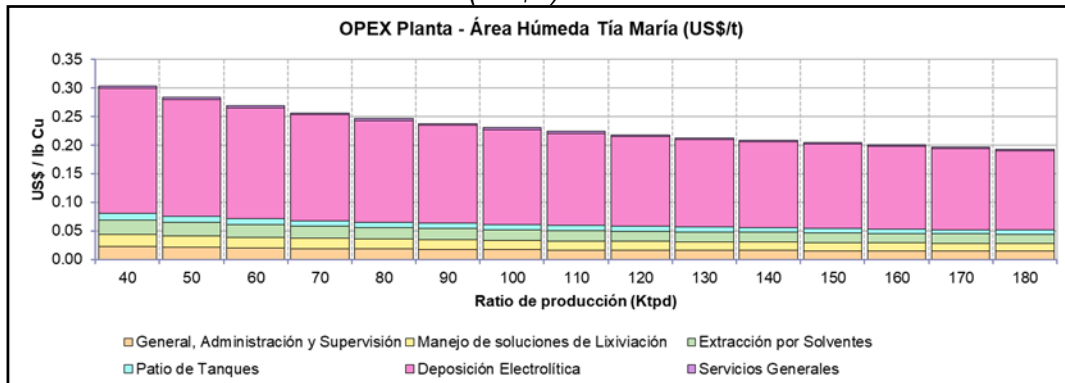
Costos de Planta “Tía María” por tasa de procesamiento (Área húmeda)

Ratio de producción	General, Administración y Supervisión	Manejo de soluciones de Lixiviación	Extracción por Solventes	Patio de Tanques	Deposición Electrolítica	Servicios Generales	Opex Planta Área Húmeda - TM
Ktpd	US\$ / lb Cu	US\$ / lb Cu	US\$ / lb Cu	US\$ / lb Cu	US\$ / lb Cu	US\$ / lb Cu	US\$ / lb Cu
40	0.02	0.02	0.03	0.01	0.22	0.00	0.30
50	0.02	0.02	0.02	0.01	0.20	0.00	0.28
60	0.02	0.02	0.02	0.01	0.19	0.00	0.27
70	0.02	0.02	0.02	0.01	0.18	0.00	0.26
80	0.02	0.02	0.02	0.01	0.18	0.00	0.25
90	0.02	0.02	0.02	0.01	0.17	0.00	0.24
100	0.02	0.02	0.02	0.01	0.17	0.00	0.23
110	0.02	0.02	0.02	0.01	0.16	0.00	0.22
120	0.02	0.02	0.02	0.01	0.16	0.00	0.22
130	0.02	0.01	0.02	0.01	0.15	0.00	0.21
140	0.02	0.01	0.02	0.01	0.15	0.00	0.21
150	0.02	0.01	0.02	0.01	0.15	0.00	0.20
160	0.01	0.01	0.02	0.01	0.14	0.00	0.20
170	0.01	0.01	0.02	0.01	0.14	0.00	0.20
180	0.01	0.01	0.02	0.01	0.14	0.00	0.19

Fuente: Elaboración propia

**Figura 25**

OPEX Planta- Área húmeda Tía María (US\$/t).



Fuente: Elaboración propia.

## 4.2 Optimización de Pit

Para la optimización de pit se ha utilizado un único modelo de bloques unificado generado para ambos yacimientos, los costos han sido actualizados al 2024, dichos costos han sido ajustados en base a similitudes con las operaciones similares con los precios de combustible, energía y mano de obra y ajuste por inflación.

En el presente trabajo no se ha considerado amortizaciones ni costos por agotamiento debido a que no son gastos efectivos, la exploración se considera como un gasto hundido y no se considera. La participación de trabajadores se determina sobre la base de utilidades antes de impuesto y por lo tanto tampoco se incluye para la valorización del tajo económico.

El costo operativo de minado se aplica a todos los materiales extraídos sobre la base por tonelada de material de mina y los costos del beneficio del mineral son todos los costos variables de chancado, fajas overland y lixiviación. Estos son presentados en términos de toneladas de mineral molido. Los costos fijos de lixiviación son cargados directamente al mineral, al igual que sus costos variables.

Las regalías han sido evaluadas en base a un costo unitario dólares por libra siendo asumido por la compañía como un gasto no operativo, este costo es aplicado directamente al precio del cobre. El precio es fijado sobre la base de cotización internacional.

Los costos incluyen todos los costos directos e indirectos y están ajustados a proyecciones de largo plazo.

En la siguiente tabla se presentan los costos unitarios de mina base para la valorización y posterior generación de reservas.

**Tabla 35**

*Modelo económico, actualización al 2024*

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	VALOR
Precio de Venta	US\$ / lb de Cu	3.50
<b>Precios</b>		
Energía	US\$ /MWh	87.00
Combustible	US\$ / Galon	5.6
Ácido Sulfúrico	US\$ / t	95
<b>Costo de Minado</b>		
La Tapada	US\$ / TM	1.38
Tía María	US\$ / TM	1.38
<b>Costo de Lixiviación</b>		
La Tapada	US\$ / TM	3.65
Tía María	US\$ / TM	3.46
<b>Costo de ESDE</b>		
La Tapada	US\$ / lb	0.23
Tía María	US\$ / lb	0.23
<b>Otros costos considerados</b>		
Ventas de cobre	US\$ / lb	0.009
Regalías mineras	US\$ / lb	0.054
Inc. acarreo profundización	US\$ / TM	0.010
Inc. acarreo por subir	US\$ / TM	0.005
<b>Recuperaciones</b>		
La Tapada	%	69
Tía María	%	65

Fuente: Elaboración propia

### 4.3 Valorización de bloque

La valorización de los bloques se realiza al descontar todos los costos de minado y procesamiento de la venta del cátodo de cobre si el bloque contiene mineral de interés económico y cubre los costos de minado o procesamiento, caso contrario el bloque registra los valores negativos, es decir para aquellos bloques sin mineral de interés económico o aquellos cuya venta de cobre no cubre los costos de minado y procesamiento. Esta valorización se realiza utilizando el software MinePlan, a través de un script desarrollado para este fin específico.

$$T = 12.5 \times 12.5 \times 15 (\% \text{Topografía}) \times \text{Densidad}$$

$$\text{Desmonte} = T \times [-(Cm + Ci)]$$

$$\text{Mineral} = T \times \{ [L \times 22.046 \times (P - Cec - Cvc - Re) \times R] - [Cm + Cl + Ci] \}$$

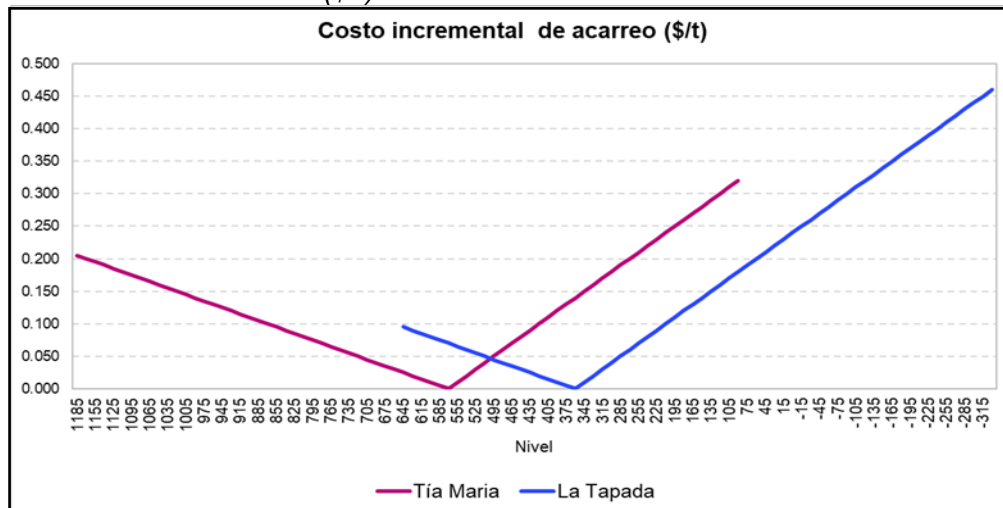
Donde:

$T$	=	Toneladas
$L$	=	Ley de corte de Cu
$Cm$	=	Costo de minado
$Cl$	=	Costo de lixiviación
$Ci$	=	Costo incremental
$R$	=	Recuperación
$P$	=	Precio lb Cu
$Cec$	=	Costo de extracción del cátodo
$Cvc$	=	Costo de venta del cátodo
$Re$	=	Regalías

Para ambos yacimientos se consideró un costo incremental de acarreo (Ci) a partir de un nivel base calculada en el mismo modelo de bloques. En el caso del yacimiento La Tapada el costo incremental de minado (Ci) toma el nivel base 360, y en el yacimiento de Tía María se considera el nivel 570.

**Figura 26**

Costo incremental de acarreo (\$/t)



Fuente: Elaboración propia

A continuación, se muestra el script utilizado en el cálculo de tonelaje y valorización:

### **Cálculo de tonelaje**

```
if $(TOPO) > 0 and $(TOPO) < 100 and $(SG) == $(undefined):
```

```
    $(SG) = 2.38
```

```
if $(TOPO) == 100 and $(SG) == $(undefined):
```

```
    $(SG) = 2.55
```

```
if $(TOPO) == 0:
```

```
    $(SG) = 0
```

```
$(TON) = 12.5*12.5*15*$(TOPO)*$(SG)/100
```

### **Parámetros económicos**

```
P = 3.5
```

```
Cec = 0.23
```

```
Cvc = 0.009
```

```
Re = 0.054
```

```
Cm = 1.38
```

```
Cl = 3.65
```

```
if $(PIT) == 1:
```

```
    Cl = 3.65
```

```
if $(PIT) == 2:
```

```
    Cl = 3.46
```

### **Valorización de bloques**

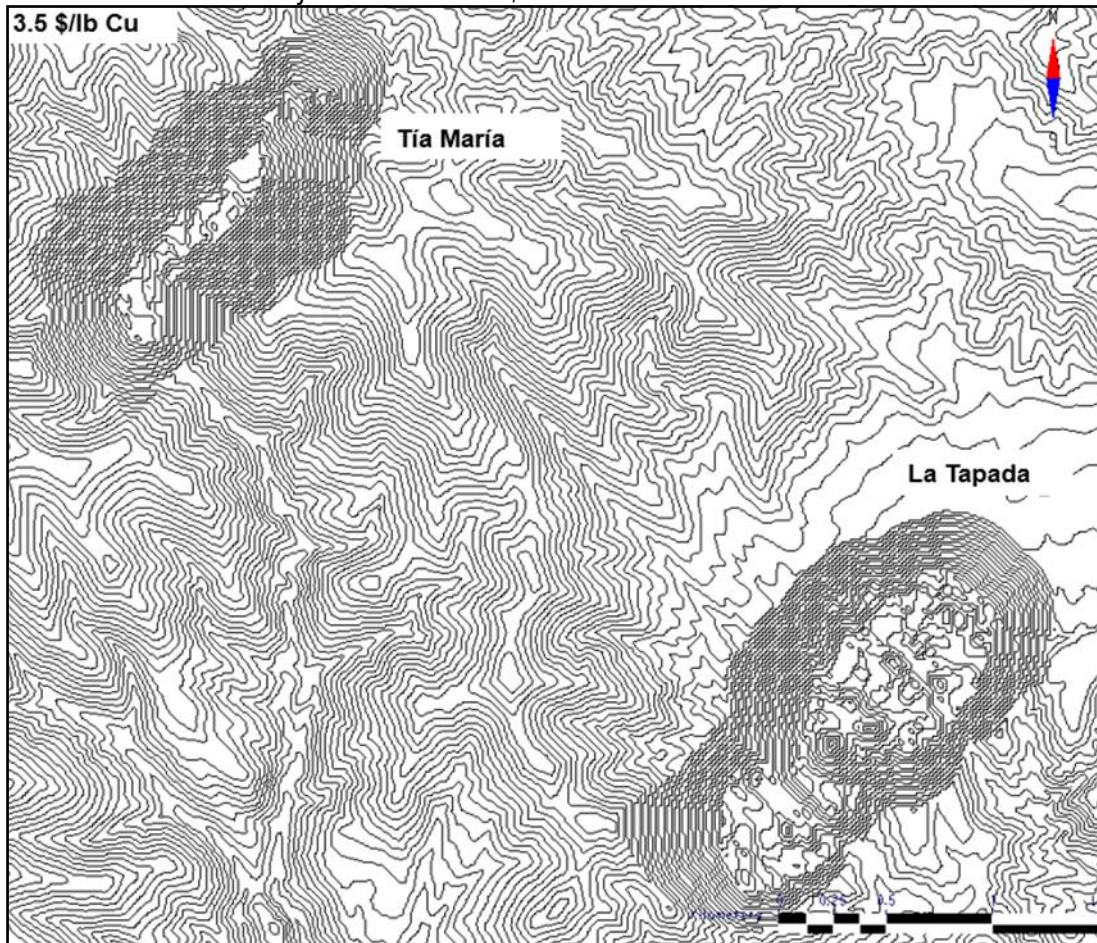
```
Val_desmonte= -$(TON)*(Cm+$(INC))
```

```
Val_mineral = $(TON)*$(CU)/100*(P-Cec-Cvc-Re)*$(REC)/100*2204.623-  
    (Cm+$(INC)+Cl)
```

La optimización se realizó mediante el algoritmo de Lerchs & Grossmann, haciendo uso directamente de valor del bloque calculado previamente con los scripts considerando solo bloques con la categoría de medido e indicado, las otras categorías se consideran desmonte. Para la configuración de las paredes del tajo empleó el ángulo global de la sectorización y los dominios estructurales. La envolvente económica se presenta en la siguiente figura:

**Figura 27**

*Envolverte económica tajo final a 3.5 US\$ / lb de Cu.*



Fuente: Elaboración propia

#### **4.4 Generación de planes de minado**

Se van a generar 15 casos de minado en función de tasas de producción planta, para ello se va a considerar:

- Tiempos de ejecución de proyecto
- Selección de fases de minado
- Costos de minado variable
- Costos de proceso variable
- Plan de minado

##### **4.4.1 Tiempo de ejecución de proyecto**

Los tiempos de ejecución de proyecto han sido evaluado en función de los últimos proyectos de mediana y gran minería ejecutadas en Perú y se asume que los primeros

trabajos serán ejecutados en el 2024. Para ello se consideran los tiempos de construcción, preminado, ramp up de planta y full producción.

**Figura 28**

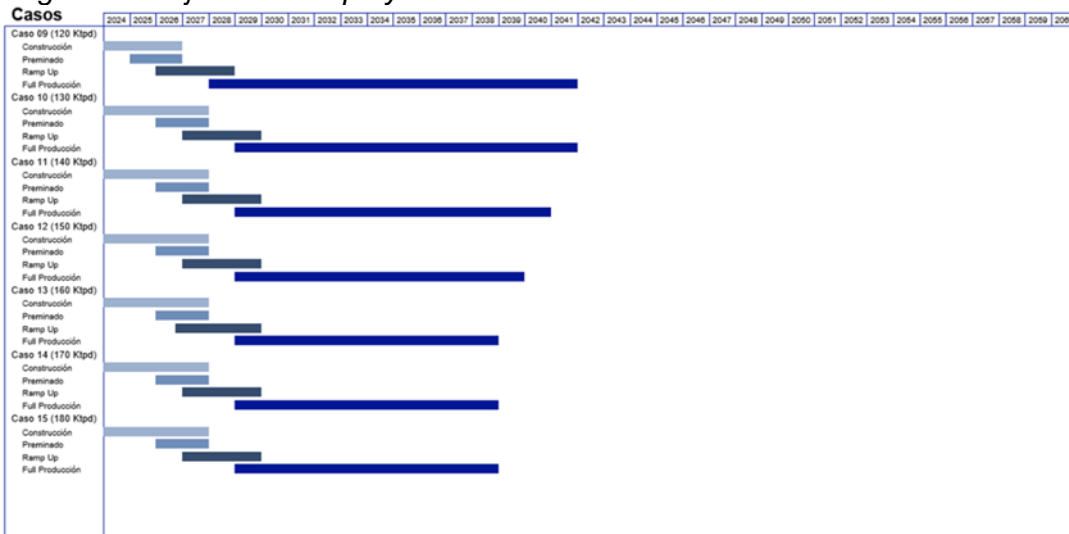
*Cronograma de ejecución de proyecto Casos 01-08.*



Fuente: Elaboración propia

**Figura 29**

*Cronograma de ejecución de proyecto Casos 08-15.*



Fuente: Elaboración propia

#### **4.4.2 Definición de fases de minado**

La definición de fases de minado para cada caso se ha realizado en base a la generación de valor de cada pitshell y su rentabilidad al ser extraído, adicionalmente se considera anchos operativos de minado entre envolventes económicas. A continuación, se muestra las fases seleccionadas a nivel de pitshell:

**Figura 30**

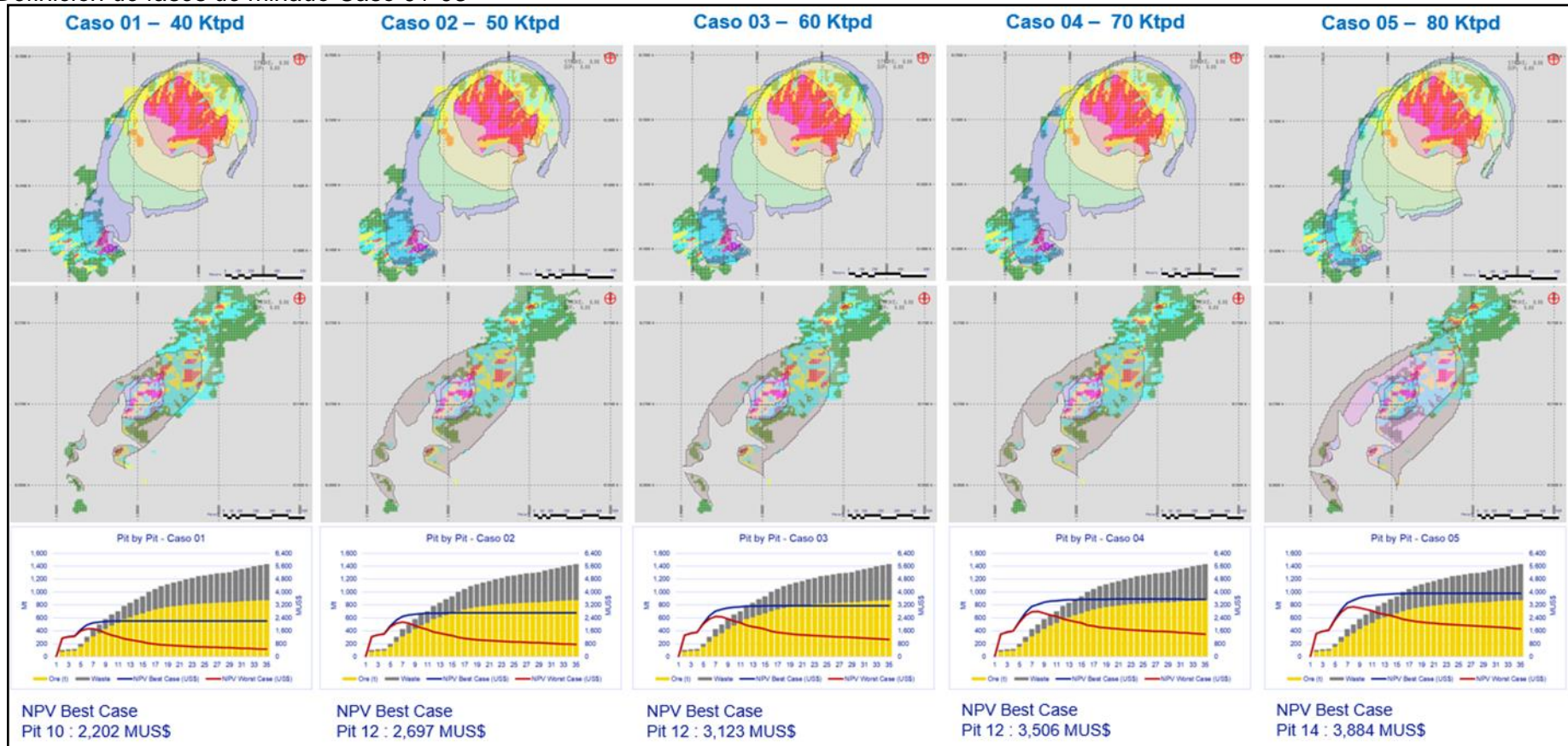
*Definición de fases de minado Casos 01-15*

Pit	Precio Cu \$/lb	Caso 01	Caso 02	Caso 03	Caso 04	Caso 05	Caso 06	Caso 07	Caso 08	Caso 09	Caso 10	Caso 11	Caso 12	Caso 13	Caso 14	Caso 15
		40 Ktpd	50 Ktpd	60 Ktpd	70 Ktpd	80 Ktpd	90 Ktpd	100 Ktpd	110 Ktpd	120 Ktpd	130 Ktpd	140 Ktpd	150 Ktpd	160 Ktpd	170 Ktpd	180 Ktpd
1	0.80	0.7	0.7	0.7	0.7	0.74	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
2	0.98	1,149	1,253	1,332	1,394	1,443	1,482	1,518	1,554	1,576	1,596	1,613	1,630	1,647	1,663	1,678
3	0.99	1,246	1,367	1,456	1,527	1,585	1,633	1,670	1,708	1,739	1,768	1,786	1,805	1,822	1,839	1,855
4	1.00	1,296	1,424	1,520	1,599	1,659	1,715	1,753	1,792	1,824	1,857	1,881	1,900	1,918	1,936	1,952
5	1.10	1,682	1,898	2,067	2,204	2,313	2,411	2,482	2,558	2,613	2,668	2,716	2,754	2,787	2,822	2,855
6	1.20	1,961	2,279	2,533	2,745	2,921	3,078	3,194	3,320	3,409	3,506	3,579	3,648	3,711	3,766	3,819
7	1.30	2,107	2,499	2,823	3,101	3,336	3,546	3,711	3,882	4,007	4,139	4,246	4,346	4,432	4,521	4,592
8	1.40	2,156	2,581	2,939	3,249	3,514	3,754	3,945	4,139	4,286	4,440	4,565	4,683	4,783	4,892	4,972
9	1.50	2,187	2,638	3,025	3,364	3,659	3,925	4,144	4,362	4,531	4,705	4,848	4,988	5,102	5,230	5,322
10	1.60	2,202	2,669	3,074	3,434	3,747	4,035	4,270	4,507	4,693	4,882	5,043	5,198	5,323	5,465	5,569
11	1.70	2,209	2,684	3,099	3,470	3,795	4,094	4,341	4,588	4,785	4,984	5,155	5,318	5,454	5,601	5,716
12	1.80	2,214	2,697	3,123	3,506	3,845	4,158	4,419	4,679	4,889	5,101	5,285	5,461	5,607	5,766	5,892
13	1.90	2,217	2,703	3,133	3,522	3,867	4,186	4,454	4,721	4,937	5,156	5,346	5,526	5,678	5,845	5,973
14	2.00	2,218	2,707	3,140	3,534	3,884	4,210	4,483	4,756	4,979	5,203	5,399	5,586	5,743	5,914	6,049
15	2.10	2,219	2,709	3,145	3,542	3,896	4,224	4,502	4,780	5,006	5,235	5,435	5,625	5,786	5,962	6,098
16	2.20	2,219	2,711	3,150	3,550	3,908	4,241	4,524	4,807	5,038	5,273	5,479	5,674	5,840	6,019	6,162
17	2.30	2,220	2,712	3,152	3,554	3,915	4,251	4,536	4,822	5,057	5,295	5,503	5,702	5,871	6,054	6,198
18	2.40	2,220	2,713	3,154	3,558	3,920	4,258	4,547	4,836	5,073	5,314	5,525	5,727	5,899	6,083	6,231
19	2.50	2,220	2,713	3,155	3,559	3,923	4,262	4,552	4,842	5,082	5,324	5,537	5,740	5,913	6,100	6,250
20	2.60	2,220	2,713	3,156	3,560	3,925	4,266	4,556	4,848	5,088	5,332	5,546	5,751	5,925	6,113	6,265
21	2.70	2,220	2,713	3,156	3,561	3,926	4,267	4,558	4,851	5,092	5,337	5,552	5,757	5,933	6,122	6,274
22	2.80	2,220	2,713	3,156	3,562	3,927	4,269	4,561	4,854	5,096	5,341	5,557	5,763	5,940	6,129	6,282
23	2.90	2,220	2,713	3,156	3,562	3,928	4,270	4,562	4,856	5,099	5,344	5,561	5,769	5,946	6,135	6,289
24	3.00	2,220	2,713	3,156	3,562	3,928	4,270	4,563	4,857	5,101	5,347	5,564	5,772	5,949	6,140	6,294
25	3.10	2,220	2,713	3,156	3,562	3,928	4,271	4,564	4,858	5,102	5,348	5,566	5,774	5,952	6,143	6,297
26	3.20	2,220	2,713	3,156	3,562	3,928	4,271	4,564	4,859	5,102	5,349	5,567	5,775	5,953	6,144	6,299
27	3.30	2,220	2,713	3,156	3,562	3,928	4,271	4,564	4,859	5,103	5,350	5,567	5,776	5,955	6,146	6,301
28	3.40	2,220	2,713	3,156	3,562	3,928	4,269	4,564	4,858	5,100	5,336	5,558	5,767	5,942	6,122	6,257
29	3.50	2,220	2,713	3,156	3,562	3,928	4,271	4,564	4,859	5,103	5,350	5,568	5,777	5,955	6,147	6,303

Fuente: Elaboración propia

**Figura 31**

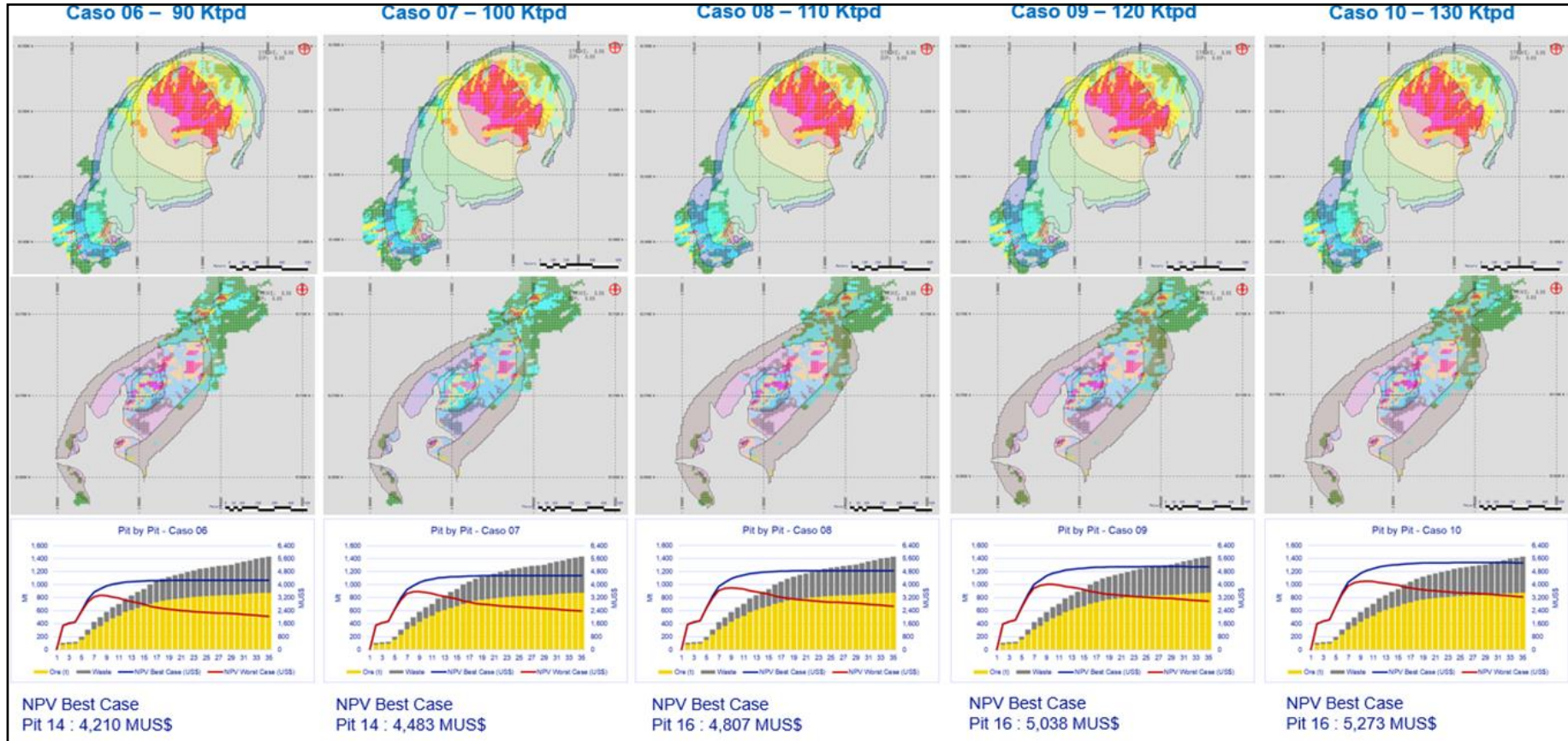
*Definición de fases de minado Caso 01-05*



Fuente: Elaboración propia

Figura 32

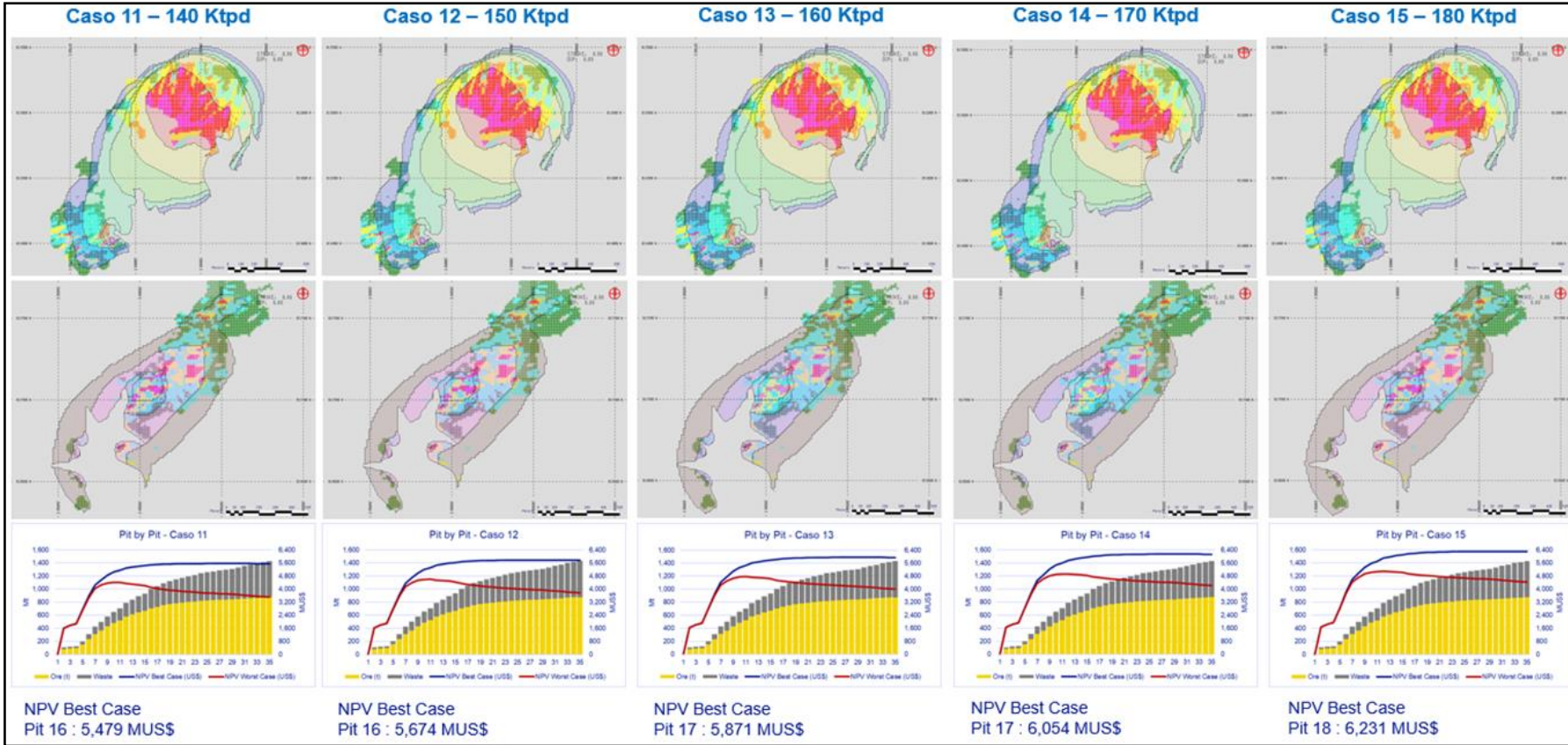
Definición de fases de minado Caso 06-10



Fuente: Elaboración propia

**Figura 33**

*Definición de fases de minado Caso 11-15*



Fuente: Elaboración propia

#### ***4.4.3 Inputs plan minero***

Utilizando los pitshell y/sólidos a usar como fases de minado se procede a generar los inputs de costos de minado y planta a introducir en cada escenario estratégico a evaluar.

**Tabla 36**

*Inputs plan minero*

Casos	Ratio de producción	Ore to Crusher	Costo mina	Costo remanejo	Costo planta Area seca - TP	Recuperación TP	Costo planta Area seca - TM	Recuperación TM	Precio Cu ESDE, venta y regalías
#	Ktpd	tpa	US\$ / t	US\$ / t	US\$ / t min	%	US\$ / t min	%	US\$ / lb Cu
Caso 01	40	14,400,000	1.82	1.13	4.80	69	4.55	65	3.13
Caso 02	50	18,000,000	1.70	1.05	4.49	69	4.26	65	3.15
Caso 03	60	21,600,000	1.61	1.00	4.25	69	4.03	65	3.17
Caso 04	70	25,200,000	1.53	0.95	4.06	69	3.85	65	3.18
Caso 05	80	28,800,000	1.47	0.92	3.90	69	3.70	65	3.19
Caso 06	90	32,400,000	1.42	0.88	3.76	69	3.57	65	3.20
Caso 07	100	36,000,000	1.38	0.86	3.65	69	3.46	65	3.21
Caso 08	110	39,600,000	1.34	0.83	3.54	69	3.36	65	3.21
Caso 09	120	43,200,000	1.31	0.81	3.45	69	3.27	65	3.22
Caso 10	130	46,800,000	1.27	0.79	3.37	69	3.20	65	3.22
Caso 11	140	50,400,000	1.25	0.77	3.30	69	3.12	65	3.23
Caso 12	150	54,000,000	1.22	0.76	3.23	69	3.06	65	3.23
Caso 13	160	57,600,000	1.20	0.74	3.17	69	3.00	65	3.24
Caso 14	170	61,200,000	1.18	0.73	3.11	69	2.95	65	3.24
Caso 15	180	64,800,000	1.16	0.72	3.06	69	2.90	65	3.24

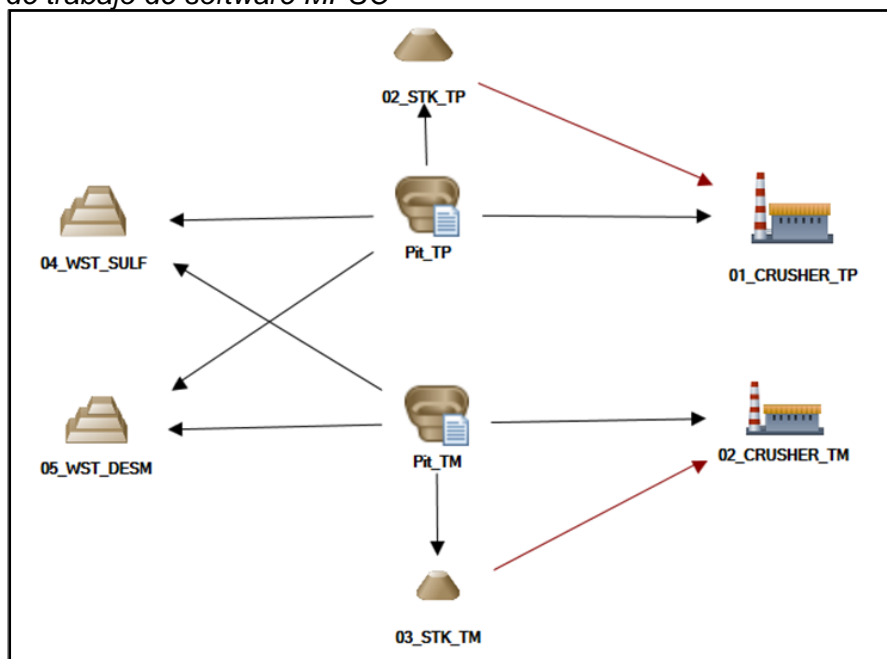
Fuente: Elaboración propia

#### 4.5 Plan de minado estratégico

Para la elaboración de planes de minado estratégicos se ha utilizado el módulo “Schedule Optimizer” del software minero Mineplan el cual ha sido desarrollado por Hexagon Mining, este programa permite generar planes de minado estratégicos, de largo y mediano plazo en minería a cielo abierto utilizando programación lineal y por objetivos considerando topografías, modelos geológicos y económicos. A continuación se muestra el mapa de proceso utilizado en la presente investigación:

**Figura 34**

*Diagrama de trabajo de software MPSO*



Fuente: Elaboración propia

El optimizador utiliza motor CPLEX el cual ha sido desarrollado por IBM y utiliza algoritmos de programación lineal entera mixta para la búsqueda de optimización de planes de minado tomando las siguientes consideraciones:

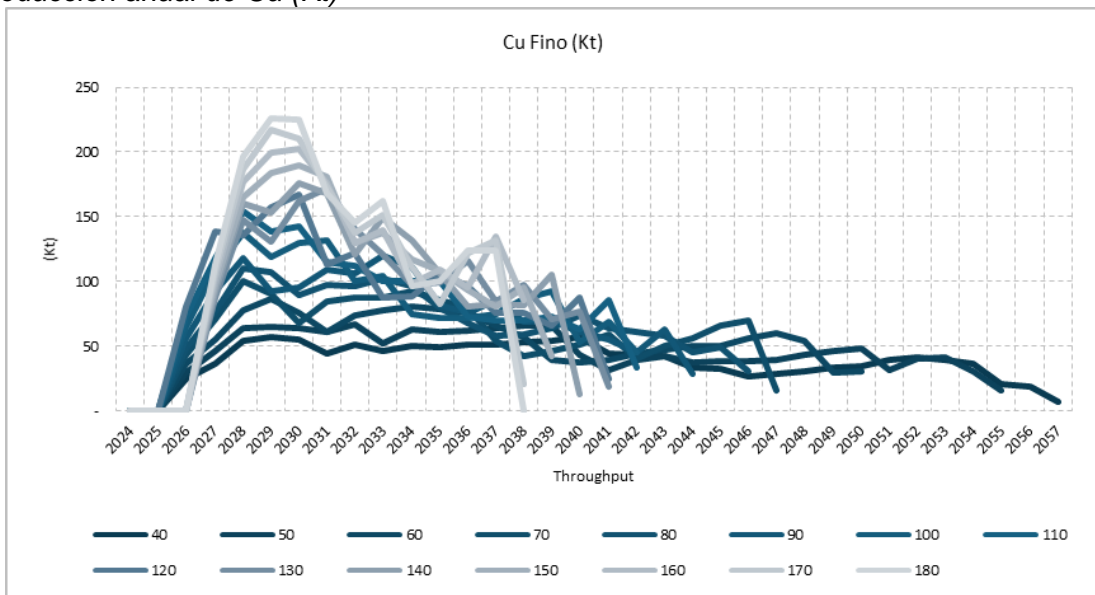
- Mapa de proceso
- Distribución de materiales
- Tonelaje de minado
- Remanejo de materiales (Promedio, LIFO, FIFO, etc)
- Sinking Rate
- Número de fases por periodo

- Precedencia de fases
- Objetivos (Max VPN, Max Cu fino, Min S/R, etc)
- Precio de Cu, recuperaciones y precios de metales
- Capex
- Costos de minado
- Costos planta

A continuación, se muestra el perfil de Cu fino producido anual y acumulado para cada escenario evaluado:

**Figura 35**

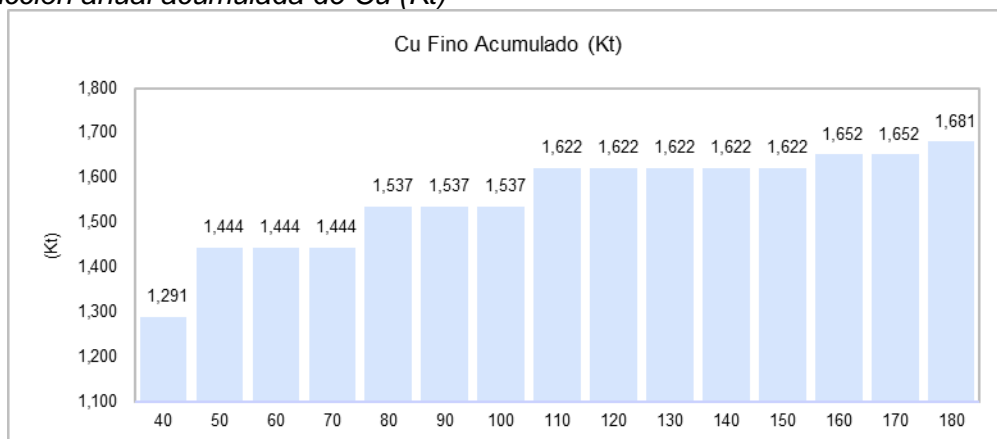
*Producción anual de Cu (Kt)*



Fuente: Elaboración propia

**Figura 36:**

*Producción anual acumulada de Cu (Kt)*



Fuente: Elaboración propia

#### 4.6 Consumo de CAPEX

El consumo de CAPEX considerado en cada escenario se muestra a continuación:

**Tabla 37**

*Consumo de CAPEX*

CASOS	RATIO DE PRODUCCIÓN	CAPEX AÑO 1	CAPEX AÑO 2 ->
#	Ktpd		
Caso 01	40	60%	Delta lineal
Caso 02	50	60%	Delta lineal
Caso 03	60	50%	Delta lineal
Caso 04	70	50%	Delta lineal
Caso 05	80	50%	Delta lineal
Caso 06	90	50%	Delta lineal
Caso 07	100	50%	Delta lineal
Caso 08	110	50%	Delta lineal
Caso 09	120	48%	Delta lineal
Caso 10	130	45%	Delta lineal
Caso 11	140	45%	Delta lineal
Caso 12	150	45%	Delta lineal
Caso 13	160	45%	Delta lineal
Caso 14	170	45%	Delta lineal
Caso 15	180	45%	Delta lineal

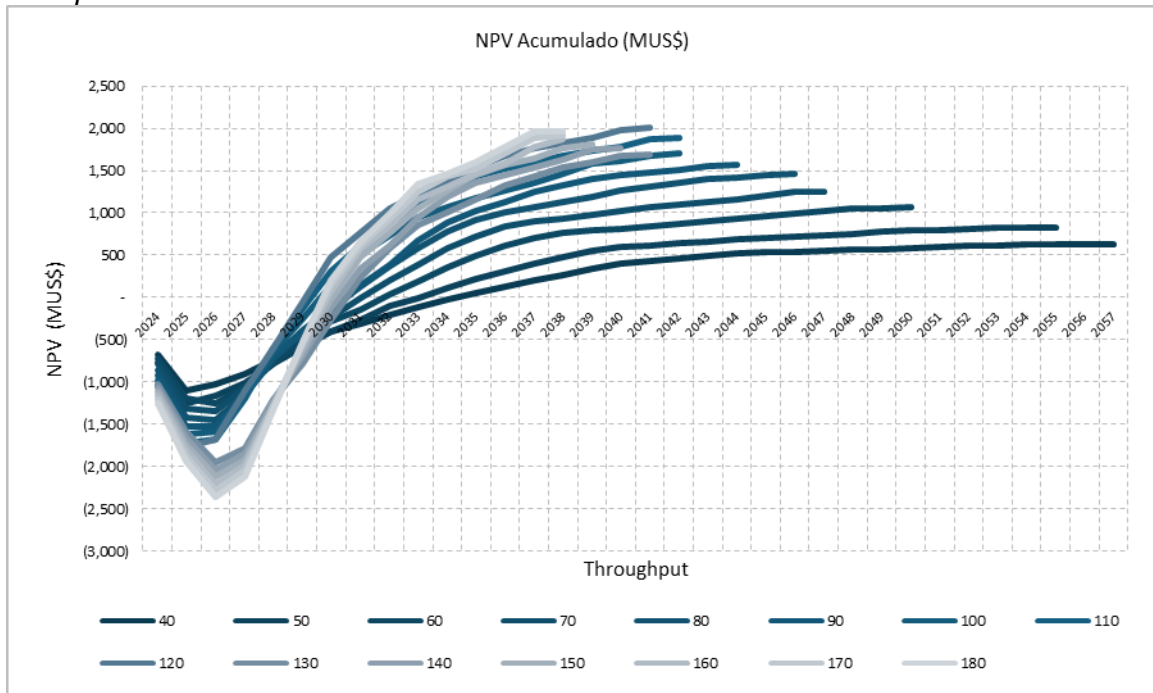
Fuente: Elaboración propia

#### 4.7 Evaluación económica y análisis éxito promedio

Para la realización de evaluaciones económicas se ha considerado una tasa de descuento de 10%, flujo económico del plan minero el cual considera tiempos de construcción y la inversión de capital estimada en cada escenario. Los principales indicadores considerados en esta evaluación son el valor presente neto (VAN o NPV), la tasa interna de retorno (TIRR o IRR) y el indicador IVAN. Los gráficos se muestran a continuación:

**Figura 37**

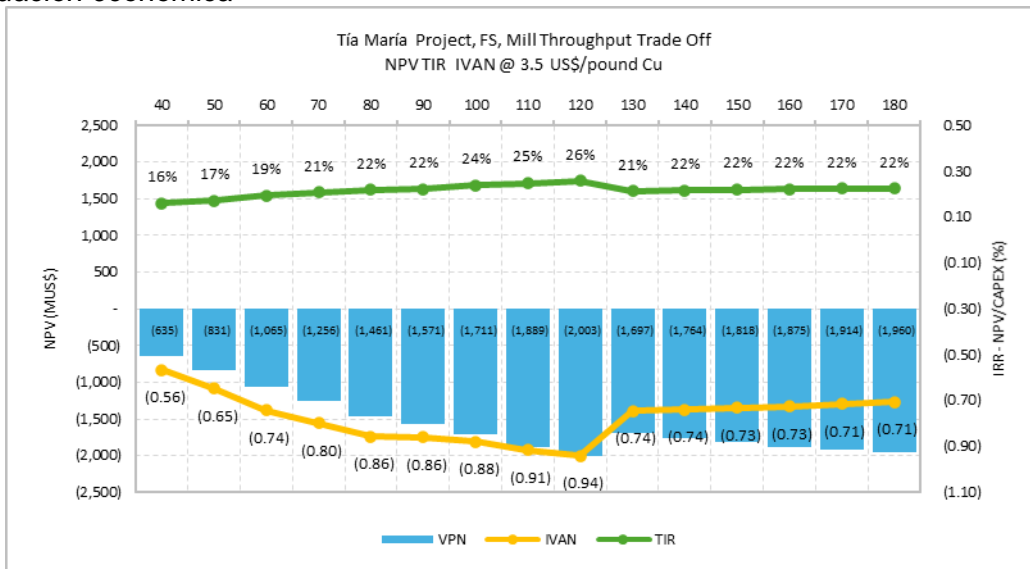
Valor presente neto



Fuente: Elaboración propia

**Figura 38**

Evaluación económica



Fuente: Elaboración propia

**Tabla 38**

*Análisis éxito promedio*

Precio Cu US\$ / lb Cu	Probabilidad	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180
2.5	0.8%	(215)	(173)	(75)	0	72	102	141	203	259	63	74	75	76	75	71
3.0	5.8%	210	329	495	628	767	837	926	1,046	1,131	880	919	946	975	994	1,015
3.5	31.9%	635	831	1,065	1,256	1,461	1,571	1,711	1,889	2,003	1,697	1,764	1,818	1,875	1,914	1,960
4.0	46.3%	1,061	1,333	1,635	1,883	2,156	2,306	2,496	2,731	2,875	2,514	2,610	2,689	2,774	2,833	2,905
4.5	13.2%	1,486	1,835	2,206	2,511	2,851	3,041	3,281	3,574	3,747	3,330	3,455	3,560	3,673	3,752	3,849
5.0	2.0%	1,911	2,337	2,776	3,138	3,545	3,776	4,066	4,416	4,618	4,147	4,300	4,432	4,573	4,671	4,794
<b>Éxito Promedio</b>	<b>100.0%</b>	<b>938</b>	<b>1,189</b>	<b>1,472</b>	<b>1,703</b>	<b>1,957</b>	<b>2,095</b>	<b>2,271</b>	<b>2,489</b>	<b>2,624</b>	<b>2,279</b>	<b>2,367</b>	<b>2,439</b>	<b>2,516</b>	<b>2,569</b>	<b>2,633</b>

Precio Cu US\$ / lb Cu	Probabilidad	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180
2.5	1.0%	0%	0%	0%	0%	28%	39%	54%	79%	100%	24%	29%	29%	29%	29%	27%
3.0	6.0%	19%	29%	44%	56%	68%	74%	82%	93%	100%	78%	81%	84%	86%	88%	90%
3.5	32.0%	32%	42%	53%	63%	73%	78%	85%	94%	100%	85%	88%	91%	94%	96%	98%
4.0	46.0%	37%	46%	56%	65%	74%	79%	86%	94%	99%	87%	90%	93%	96%	98%	100%
4.5	13.0%	39%	48%	57%	65%	74%	79%	85%	93%	97%	87%	90%	92%	95%	97%	100%
5.0	2.0%	40%	49%	58%	65%	74%	79%	85%	92%	96%	87%	90%	92%	95%	97%	100%
<b>Éxito Promedio</b>	<b>100.0%</b>	<b>34%</b>	<b>43%</b>	<b>54%</b>	<b>63%</b>	<b>73%</b>	<b>78%</b>	<b>85%</b>	<b>94%</b>	<b>99%</b>	<b>85%</b>	<b>88%</b>	<b>91%</b>	<b>94%</b>	<b>96%</b>	<b>98%</b>

Fuente: Elaboración propia

#### 4.8 Contrastación de la Hipótesis (H1) y formulación Hipótesis Nula (H0)

##### Hipótesis Nula (H0)

Un adecuado análisis de planes de minado estratégico no determinará la capacidad óptima de planta en proyectos mineros de cobre a cielo abierto.

##### Hipótesis Alterna (H1)

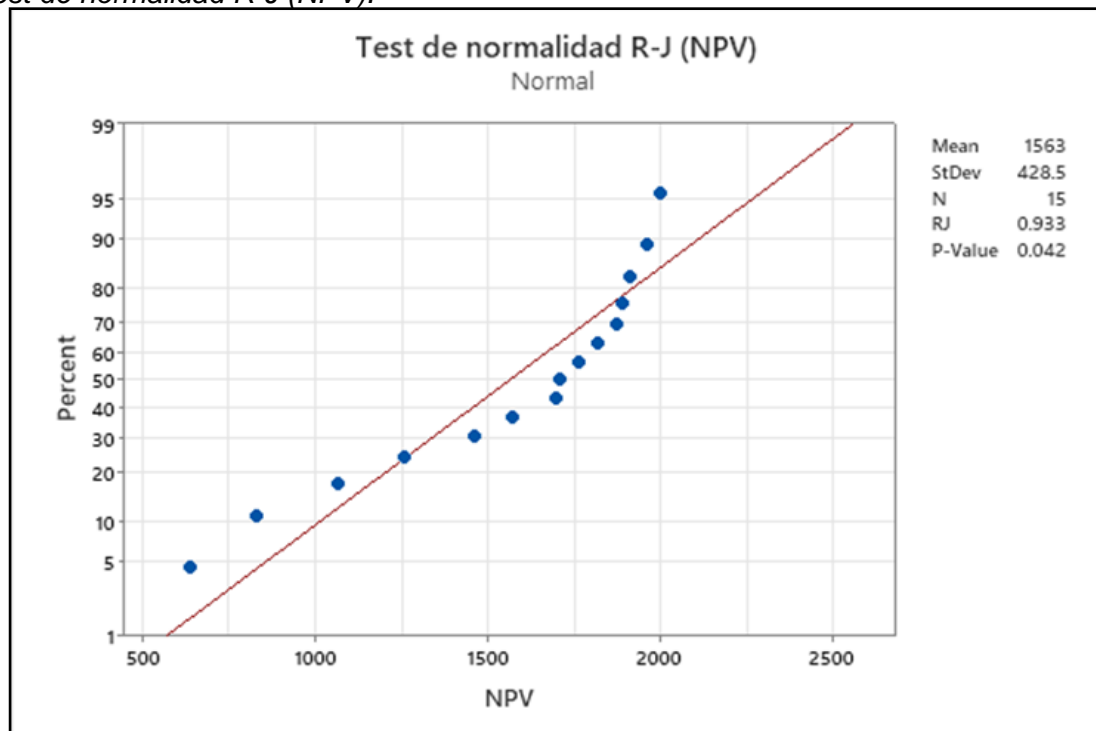
Un adecuado análisis de planes de minado estratégico determinará la capacidad óptima de planta en proyectos mineros de cobre a cielo abierto.

##### Contrastación de Hipótesis

El nivel de significancia que se asume es  $\alpha = 5\%$  y la variable que será analizada es el valor presente neto (NPV) y se aplica la prueba de Ryan-Joiner en Minitab, la cual es similar a la prueba Shapiro-Wilk dado que el número de muestras son menores a 50.

**Figura 39**

*Test de normalidad R-J (NPV).*

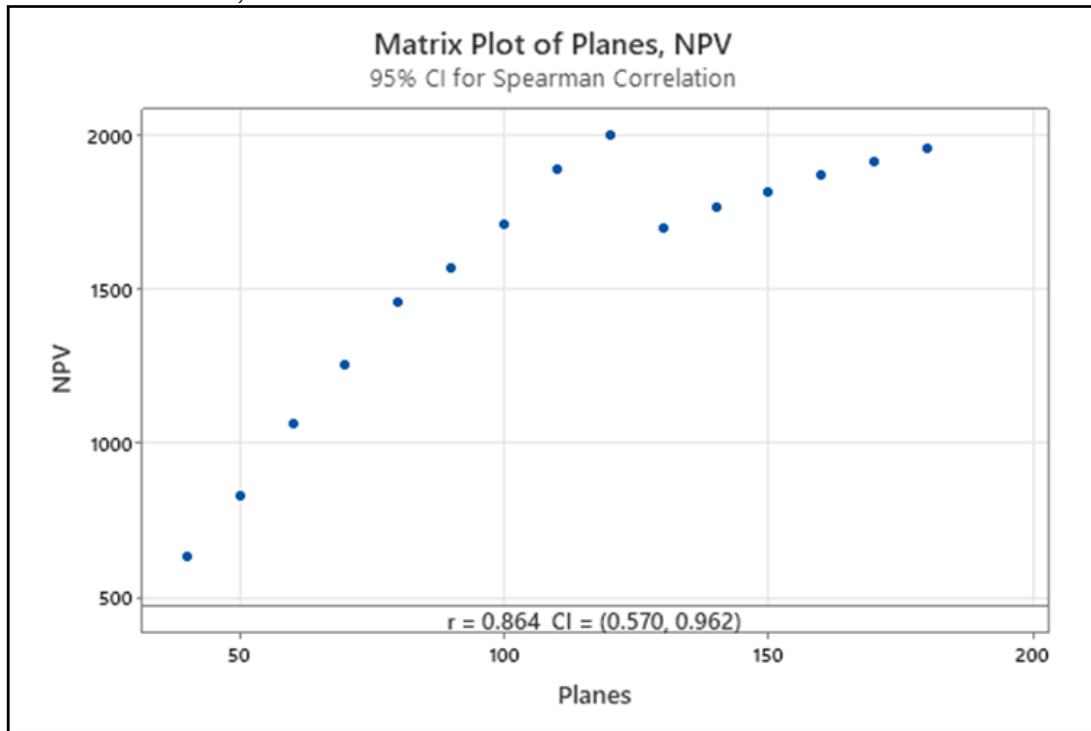


Fuente: Elaboración propia

Dado que P-Value (0.042) <  $\alpha$  (0.05) la variable NPV no sigue una distribución normal por lo que la prueba a aplicar es el coeficiente de correlación de Spearman la cual se muestra a continuación:

**Figura 40**

*Matrix Plot of Planes, NPV.*



Fuente: Elaboración propia

### Pairwise Spearman Correlations

Sample 1	Sample 2	N	Correlation	95% CI for $\rho$	P-Value
NPV	Planes	15	0.864	(0.570, 0.962)	0.000

### Decisión

El análisis a través del coeficiente de correlación de Spearman indica una correlación muy alta y significativa para las variables planes de minado y NPV ( $\rho = 0.864$ , P-Value = 0.000). En conclusión, se rechaza la hipótesis Nula y se acepta la hipótesis alterna, es decir: "Un adecuado análisis de planes de minado estratégico determinará la capacidad óptima de planta en proyectos mineros de cobre a cielo abierto".

## Conclusiones

El adecuado análisis de planes de minado estratégicos genera un incremento entre 15-17% en valor presente neto en evaluación económica y análisis de éxito promedio respecto al caso base, considerando diferentes indicadores como VPN, TIR y IVAN, por ello se concluye que una tasa de tratamiento de 120 ktpd para el proyecto minero Tía María genera la mejor opción, (Ver Figura 38 y Tabla 38).

Dada la evaluación de planes de minado estratégicos, su evaluación económica y análisis de éxito promedio se recomienda considerar una tasa de tratamiento de 120 ktpd para el proyecto minero Tía María, (Ver Figura 38 y Tabla 38).

Un solo indicador económico tal como VAN no es suficiente para la toma de decisión al momento de elegir el tamaño óptimo de tasa de tratamiento, por ello se han evaluado varios métodos y con ello poder llegar a una mejor conclusión, (Ver Figura 37 y Tabla 38).

Los tiempos de construcción del proyecto y el ramp up de la planta influyen en la generación de valor de cada escenario considerado, no obstante, para el presente estudio no se ha evaluado hacer un análisis de riesgo en este punto.

La presente investigación no considera factores ambientales y de propiedad, los cuales podrían tener un efecto en los resultados obtenidos.

La regla de los 6 décimos o regla de Smith entrega una buena aproximación para escalar costos de capital y de operación, así mismo el ajuste de costo de capital base por inflación estadounidense es corroborada con la nueva proyección de inversión publicada por la compañía en el 2025, (Ver Tabla 25).

El software Evaluador y MPSO entregan versatilidad en la generación de envolventes económicas y planes de minado estratégicos, por ello se recomienda su utilización en este tipo de evaluaciones, (Ver Figura 34).

## **Recomendaciones**

Dado que los estudios de pre y factibilidad son de bajo costo comparados con la operación se recomienda volver a generar este estudio previo a la inversión o a un nuevo estudio de impacto ambiental.

Se recomienda continuar con el trabajo de investigación diseñando el pit final, fases de minado operativas y generando planes de minado de largo plazo a fin de tener estimaciones más precisas.

Continuar con evaluaciones social - técnico y económicas a fin de evaluar una planta de flotación de sulfuros o una expansión de la actual planta de óxidos aprobada para el proyecto.

## Referencias bibliográficas

Brañez Gallardo Henry (2017), "*Planeamiento estratégico de minado: Optimización de la capacidad de planta*". Pag.10 – 13.

<https://onemine.org/documents/importancia-de-la-capacidad-de-planta-ptima-en-el-planeamiento-de-minado>.

Hall B. & Stewart C. (2004), "*Optimising the Strategic Mine Plan – Methodologies, Findings, Successes and Failures*". Pag.2 – 5.

[chrome-extension://efaidnbnmnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.ucursos.cl/ingenieria/2007/2/MI65A/1/material\\_docente/bajar?id=149028&file=1](chrome-extension://efaidnbnmnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.ucursos.cl/ingenieria/2007/2/MI65A/1/material_docente/bajar?id=149028&file=1)

McCarthy L. (2002), "*Setting Plant Capacity*" Pag. 3 – 5.

[https://www.researchgate.net/publication/233665059\\_Setting\\_plant\\_capacity](https://www.researchgate.net/publication/233665059_Setting_plant_capacity)

Miguel Albornoz Francisca (2020), "*Cálculo de la tasa de producción óptima en minería a cielo abierto*". Pag. 49 – 56.

<https://www.studocu.com/cl/document/universidad-de-concepcion/memoria-de-titulo/tesis-calculo-de-la-tasa-de-produccion/63204993>

Pizarro Pacheco Cristian (2015), "*Análisis de determinación del tamaño óptimo del negocio minero, caso evaluación para gran minería a rajo abierto*". Pag. 29 – 57.

<https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/135339>

Smith Lawrence Devon (1997), "*A critical examination of the methods and factors affecting the selection of an optimum production rate*".

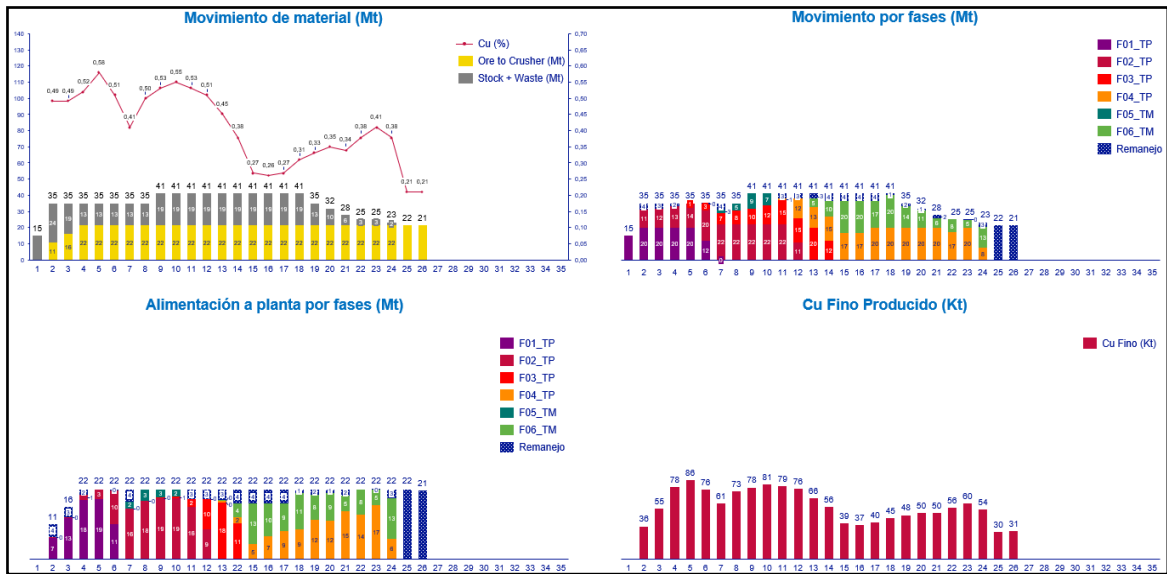
<https://onemine.org/documents/a-critical-examination-of-the-methods-and-factors-affecting-the-selection-of-an-optimum-production-rate>.

## Anexos

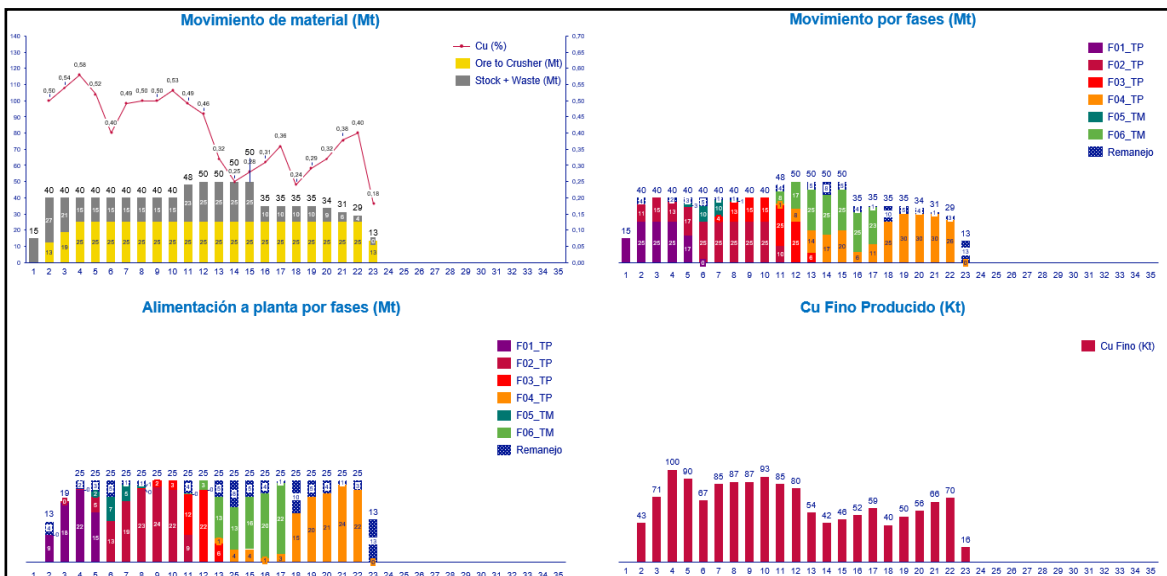
	Pág.
Anexo 1 : Plan minero Caso 01 – 40 Ktpd. ....	1
Anexo 2 : Plan minero Caso 02 – 50 Ktpd. ....	1
Anexo 3 : Plan minero Caso 03 – 60 Ktpd. ....	2
Anexo 4 : Plan minero Caso 04 – 70 Ktpd. ....	2
Anexo 5 : Plan minero Caso 05 – 80 Ktpd. ....	3
Anexo 6 : Plan minero Caso 06 – 90 Ktpd. ....	3
Anexo 7 : Plan minero Caso 07 – 100 Ktpd. ....	4
Anexo 8 : Plan minero Caso 08 – 110 Ktpd. ....	4
Anexo 9 : Plan minero Caso 09 – 120 Ktpd. ....	5
Anexo 10: Plan minero Caso 10 – 130 Ktpd. ....	5
Anexo 11: Plan minero Caso 11 – 140 Ktpd. ....	6
Anexo 12: Plan minero Caso 12 – 150 Ktpd. ....	6
Anexo 13: Plan minero Caso 13 – 160 Ktpd. ....	7
Anexo 14: Plan minero Caso 14 – 170 Ktpd. ....	7
Anexo 15: Plan minero Caso 15 – 180 Ktpd. ....	8



### Anexo 3: Plan minero Caso 03 – 60 Ktpd.

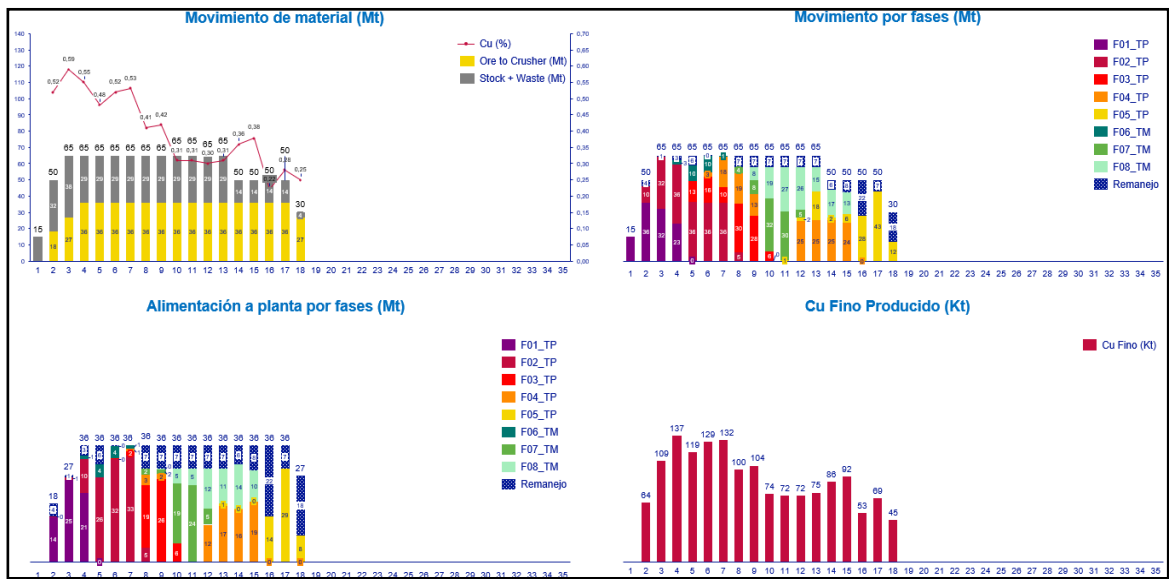


### Anexo 4: Plan minero Caso 04 – 70 Ktpd.

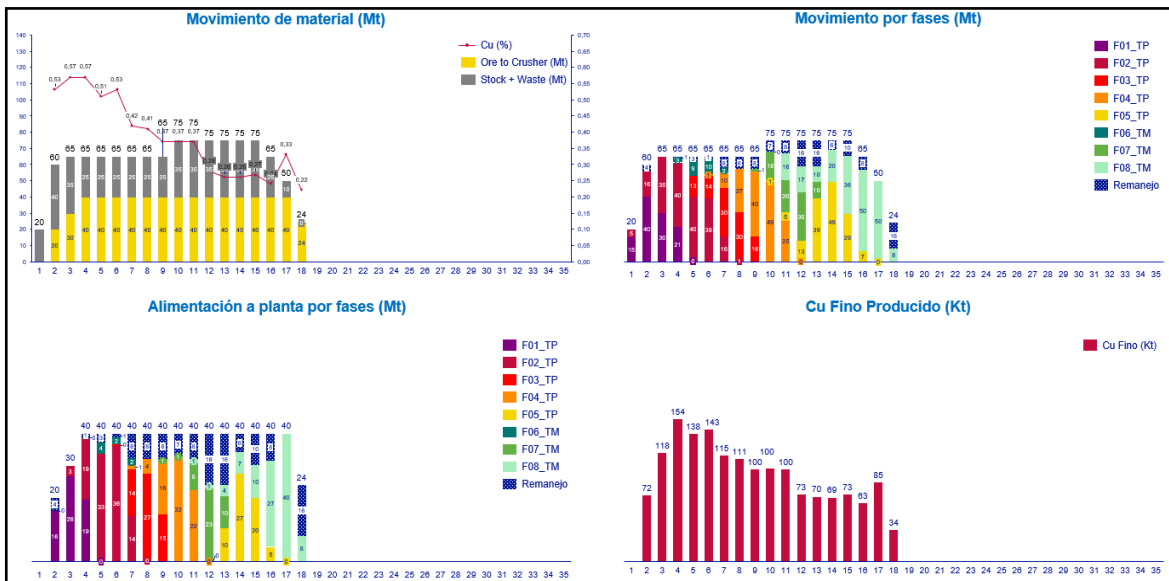




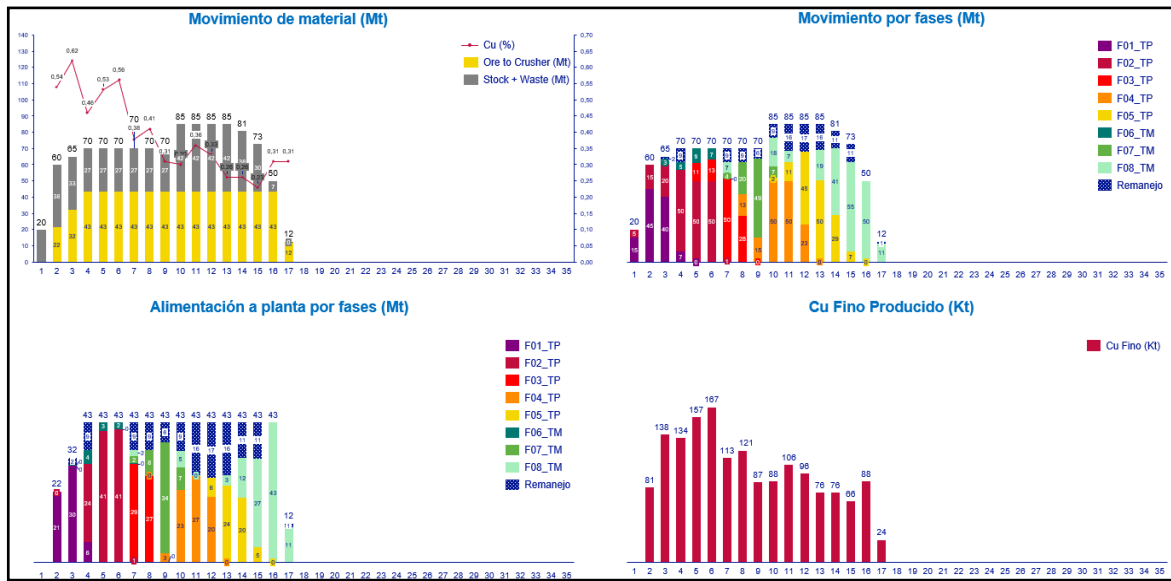
### Anexo 7: Plan minero Caso 07 – 100 Ktpd.



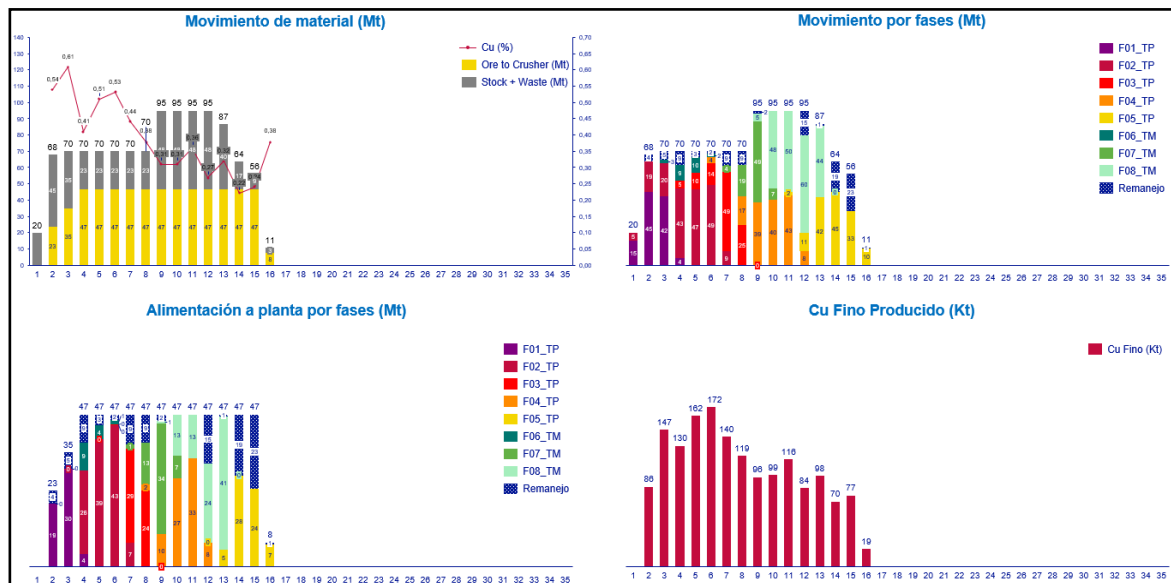
### Anexo 8: Plan minero Caso 08 – 110 Ktpd.



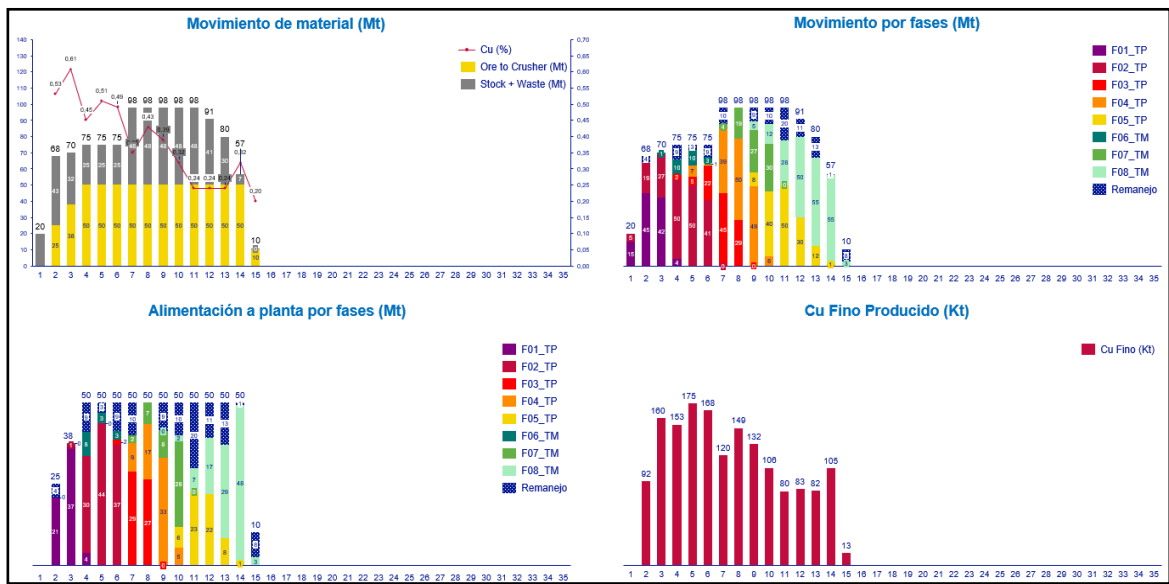
### Anexo 9: Plan minero Caso 09 – 120 Ktpd.



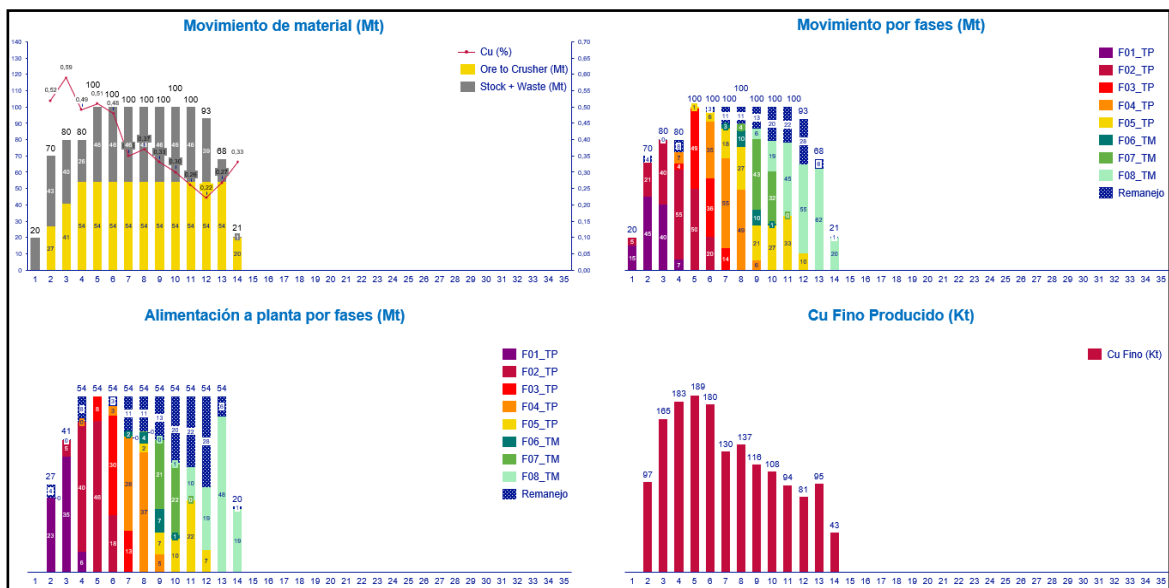
### Anexo 10: Plan minero Caso 10 – 130 Ktpd.



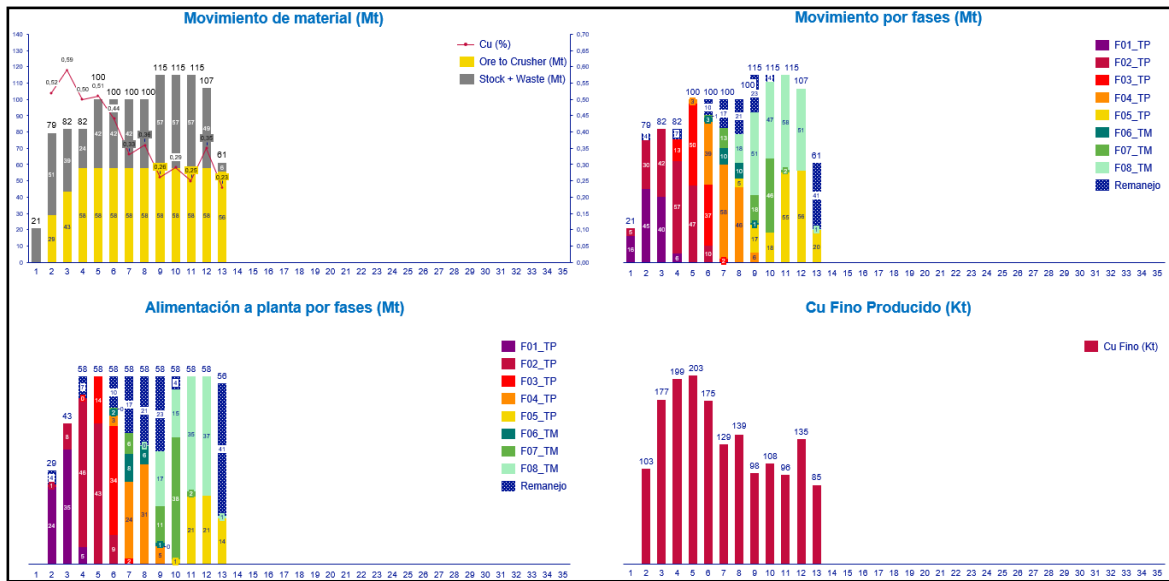
### Anexo 11: Plan minero Caso 11 – 140 Ktpd.



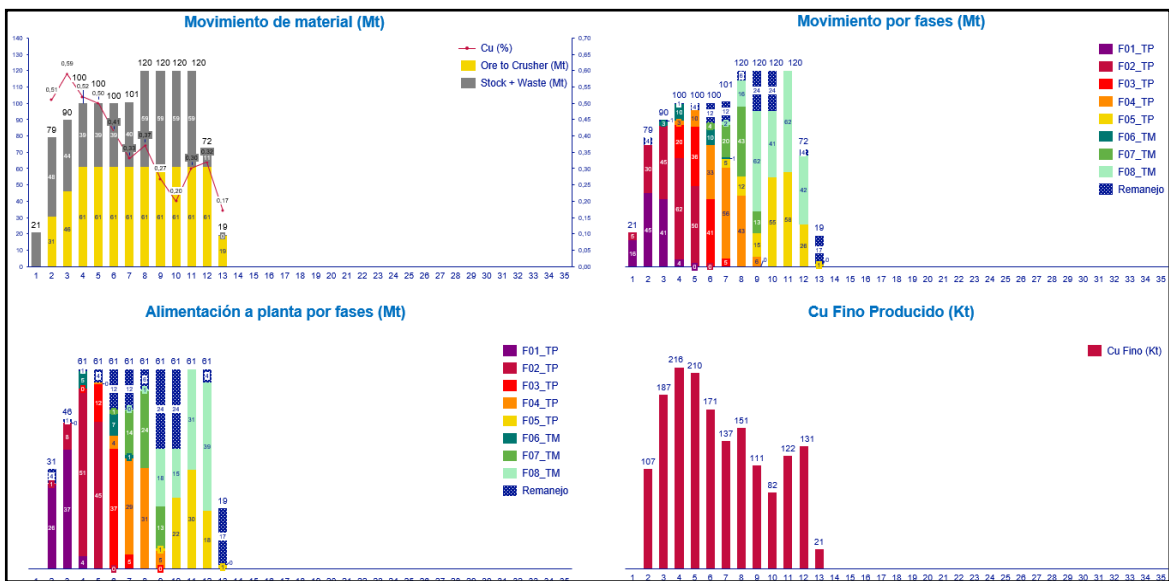
### Anexo 12: Plan minero Caso 12 – 150 Ktpd.



### Anexo 13: Plan minero Caso 13 – 160 Ktpd.



### Anexo 14: Plan minero Caso 14 – 170 Ktpd.



# Anexo 15: Plan minero Caso 15 – 180 Ktpd.

