



**UNIVERSIDAD DE CHILE**  
**FACULTAD DE CIENCIAS FISICAS Y MATEMATICAS**  
**DEPARTAMENTO DE INGENIERIA INDUSTRIAL**

**“OPTIMIZACIÓN ACTIVOS A TRAVÉS DE  
MODELO DE NEGOCIOS”**

**Operación Mantos Blancos, Anglo American**

**TESIS PARA OPTAR AL GRADO DE MAGISTER EN GESTION Y DIRECCION DE  
EMPRESAS**

**BRUNO ANSALDO RUBIÑO**

**PROFESOR GUIA:  
LUIS ZAVIEZO SCHWARTZMAN**

**MIEMBROS DE LA COMISION:  
WALTER CAZENAVE GUIER  
SERGIO PARADA ARAYA**

**SANTIAGO DE CHILE**

**JULIO 2013**

## RESUMEN

En Anglo American buscamos ser una compañía líder en el mundo, lo que implica convertirnos en la inversión, el socio y empleador preferido. Para cumplir esta meta promovemos los más altos estándares de excelencia operacional, seguridad y sustentabilidad en todas nuestras operaciones.

En el desarrollo del plan estratégico de Anglo American operación Mantos Blancos denominado Life of Mine 2011, considera una producción promedio anual entre los años 2012 y 2021 de 70.000 toneladas de cobre, mediante sus procesos flotación (sulfuros) y lixiviación (óxidos). La capacidad de planta por la línea de sulfuro se encuentra en su capacidad máxima de diseño, en cambio, la capacidad de la nave Extracción por Solventes y Electrowining es de 60.000 toneladas por año, actualmente el plan sólo considera una producción de 34.000 toneladas por año, por lo tanto, se ha identificado una oportunidad de aumentar la producción de cobre a través de la línea de minerales oxidados, debido a que la planta actual de cobre tiene una capacidad ociosa, se gestionó la alternativa de revisar opciones de negocio en relación al yacimiento Sierra Miranda.

El objetivo es diseñar y desarrollar un modelo de negocio minero que pueda generar a través de la optimización de los activos agregar valor a la operación de Mantos Blancos. La oportunidad de negocio es maximizar la capacidad instalada de la planta de óxido la cual actualmente está a un 56% de su capacidad de diseño, esto es debido a que las leyes de alimentación a planta han ido decreciendo a través del tiempo, al completar la capacidad de producción, se podrá mejorar el perfil de costos operacionales y así situarnos en el segundo cuartil de costo de la industria minera nacional. La promesa de valor consiste en identificar los impulsores de valor KVD's (Key Value Driver) del modelo de negocio planteado con la finalidad de maximizar el valor presente neto de Mantos Blancos.

Los resultados esperados con este trabajo se pretende demostrar que por la "Optimización de Activos" en Anglo American se pueden gestionar oportunidades de negocios, lo que va a permitir agregar valor al negocio minero y por ende aporta a la visión de la compañía. Además de dar sustentabilidad a nuestros trabajadores que por más de 50 años están aportando con su trabajo a Mantos Blancos.

## **DEDICATORIA**

Quiero dedicar esta tesis a mi muje Marcela que me apoyo en forma incondicional y siempre me dio la energia para poder llevar acabo este objetivo personal y tambien familiar.

## **AGRADECIMIENTOS**

En primer lugar, quiero agradecer a mi esposa, Marcela Gómez Castilla, gracias por acompañarme en este proceso largo en ocasiones, por sobre todo, tu amor, tu comprensión, paciencia y fortaleza que permitieron que pudiese, no sólo trabajar, sino también llegar a buen puerto este proyecto de aprendizaje. Eres mi amor, mi cómplice y todo.

Quiero expresar mi agradecimiento a mi hijo Enzo, porque él tuvo que soportar largas horas sin la compañía de su papá, sin poder entender, a su corta edad, porque prefería estar frente a la pantalla del notebook y no acostado y/o jugando con él. A pesar de ello, cada vez que podíamos, al reunirnos, aprovechamos hermosos momentos, en los que su sola sonrisa me llenaba de ánimo y fuerzas.

A mi hija Carolina, que también tuvo mucha paciencia, me apoyo siempre en esta nueva etapa profesional y me dio los espacios para avanzar día a día en todo lo relacionado al MBA.

Quiero agradecer a mis compañeros en la universidad, Carlos Bottinelli, Carlos Matas, Mauricio Cortes y Ricardo Labraña, con quienes compartimos largas jornadas de trabajo, conversaciones, discusiones, en fin mucho trabajo en equipo que es lo que se necesita hoy en día.

Agradecer también la empresa minera AngloAmerican en sus operaciones Mantos Blancos (Antofagasta) y Los Bronces (Santiago), la oportunidad de haber desarrollado este MBA, para perfeccionarme como persona y profesional.

A todos y todas ustedes, muchas gracias

## TABLA DE CONTENIDO

<b>1 Resumen Ejecutivo</b>	<b>8</b>
1.1 Yacimiento Sierra Miranda	8
<b>2 Introducción</b>	<b>12</b>
<b>3 Objetivos</b>	<b>12</b>
<b>4 Mercado del cobre y economías emergentes</b>	<b>13</b>
4.1 Descripción del Mercado	15
<b>5 Descripción del Tema</b>	<b>18</b>
5.1 Objetivos, promesa de valor y resultados esperados del trabajo	19
5.2 Marco Conceptual	20
5.3 Método a utilizar en la solución del tema	21
<b>6 Modelo Negocio Sierra Miranda</b>	<b>22</b>
6.1 Ubicación	22
6.2 Geología	23
6.3 Actual Método de Explotación y Proceso	24
<b>7 Modelo de Recursos y Reservas Mineras</b>	<b>26</b>
7.1 Resumen Ejecutivo	26
7.2 Información Proporcionada	26
7.3 Tratamiento de Muestras	27
7.4 Generación de Vetas	27
7.5 Estadística Básica	30
7.6 Estimación de Leyes	32
7.7 Geomecánica del Yacimiento	35
7.7.1 Nicolasa	36
7.7.2 Yammal	38
7.8 Recomendaciones Generales	39
<b>8 Métodos de Explotación (Subterráneo vs Rajo Abierto)</b>	<b>41</b>
8.1 Estudio Alternativa Explotación Subterránea	43
8.1.1 Operación Minera Sierra Miranda	43
8.1.2 Operación Futura a Estudiar	52
8.1.3 Conclusiones y Recomendaciones	58
8.1.3.1 Conclusiones	58
8.1.3.2 Recomendaciones	59
8.2 Estudio Alternativa Explotación Rajo Abierto	59
8.2.1 Resumen del Trabajo	59
8.2.2 Introducción	62
8.2.3 Geología	62
8.2.4 Actual Método de Explotación y Proceso	62
8.2.5 Metodología	63
8.2.6 Información de entrada al Diseño de Pit Final	65
8.2.7 Resultados Optimización W4X Mina Sierra Miranda	67

8.2.8	Estudio de determinación de Pit Final	69
8.2.8.1	Parámetros y Criterios de Planificación	69
8.2.8.2	Planes Mineros Milawa	69
8.2.9	Conclusiones y Recomendaciones	71
8.3	Estudio Técnico y Económico de Alternativas Estudiadas	72
8.3.1	Costos Operacionales de Alternativas Estudiadas	77
8.3.2	Parámetros Económicos	78
8.3.3	Modelo de Valorización Mina Sierra Miranda, Resultados Económicos	79
<b>9</b>	<b>Responsabilidad Social Empresarial</b>	<b>80</b>
<b>10</b>	<b>Conclusiones Generales</b>	<b>85</b>
<b>11</b>	<b>Bibliografía</b>	<b>87</b>

## FIGURAS

Figura	1	Producción de cobre en toneladas, Life of Mine 2011	20
Figura	2	Plano de ubicación y Propiedad Minera Sierra Miranda	23
Figura	3	Sistema de Veta y Geología Estructural	24
Figura	4	Elevación en Perfil del Método de Explotación	25
Figura	5	Vista 3D Topografía y Sondajes Sierra Miranda	27
Figura	6	Vista 3D Topografía, Sondajes y Vetas Modeladas	30
Figura	7	Histogramas individuales por conjunto de vetas	31
Figura	8	Variograma CuT	32
Figura	9	Portal Nicolasa Nivel 1250 con acuñadura y enmallado	36
Figura	10	Portal Yammal Nivel 1210 con acuñadura	38
Figura	11	Esquema de Método SLS Sierra Miranda	47
Figura	12	Vista General de Caserones y Labores Sierra Miranda	52
Figura	13	Optimización Whittle 4X	64
Figura	14	Topografía del sector Proyecto Sierra Miranda	65
Figura	15	Esquema de Procesos Mina - Planta	67
Figura	16	Resultados por Pits a través de W4X	67
Figura	17	Pits Anidados W4X - Nivel 1352 msnm	68
Figura	18	Alternativas a evaluar en modelo negocio Sierra Miranda	72
Figura	19	C1 en cUS\$/lb Empresas Mineras	76
Figura	20	Gráfico de Movimiento de flujos del Proyecto	79

## TABLAS

Tabla 1	Resultados del Proyecto	11
Tabla 2	Consumo, PIB y Elasticidad Países en el Mundo	13
Tabla 3	Precio del cobre entre 1908 y 2010	15
Tabla 4	Marco Referencia correspondiente al Life of Mine 2011	16
Tabla 5	Producción de cobre en Chile hasta el 2020	17
Tabla 6	Precio del cobre en el largo plazo	17
Tabla 7	Parámetros de búsqueda estimación de indicadores	29
Tabla 8	Estadísticas básicas por conjunto de vetas	31
Tabla 9	Parámetros de búsqueda estimación de CuT por conjunto de vetas (1° Corrida)	32
Tabla 10	Parámetros de búsqueda estimación de CuT por conjunto de vetas (2° Corrida)	33
Tabla 11	Cubicaciones globales por conjunto de vetas	34
Tabla 12	Tabla de Tonelaje-Ley por conjunto de vetas	35
Tabla 13	Tabla de Tonelaje-Ley por conjunto de vetas	35
Tabla 14	Costos de Desarrollo	54
Tabla 15	Costos de Preparación	54
Tabla 16	Resumen de Costos de Operación US\$/ton extraída	56
Tabla 17	Cuadro de Inversiones Iniciales Sierra Miranda en MUS\$	57
Tabla 18	Datos Whittle Proyecto Sierra Miranda	60
Tabla 19	Curva Tonelaje – Ley	66
Tabla 20	Pits seleccionados para fases teóricas	68
Tabla 21	Resumen Planes Mineros a Pit Final - Movimiento Mina 100, 50 y 25 ktpd	70
Tabla 22	Plan Minero 100 ktpd	70
Tabla 23	Variables Estratégicas a evaluar en los Caso Base y Expandido	74
Tabla 24	Parámetros Técnicos a analizar en los diferentes casos de estudio	75
Tabla 25	Resultados Costos Operacionales del Proyecto Sierra Miranda	77
Tabla 26	Parámetros Económicos del Proyecto Sierra Miranda	78
Tabla 27	Resultados Evaluación Económica del Proyecto Sierra Miranda	79
Tabla 28	Nuevos Resultados Caso 2	86

## **1 Resumen Ejecutivo**

### **1.1 Yacimiento Sierra Miranda**

Durante el mes de noviembre del 2010, se gestionó la alternativa de revisar opciones de negocio en relación al yacimiento Sierra Miranda por parte de Anglo American Copper. Estas alternativas iban de una opción de compra y/o arriendo del yacimiento, con la finalidad de procesar soluciones en la división Mantos Blancos ó producir directamente cátodos de cobre en la planta de SXEW de Sierra Miranda. Con estas producciones podrían aportar parte del cobre fino con el objetivo de lograr posicionar a Anglo con una producción de 1.5 millones de toneladas de cobre fino hacia el año 2020.

El alcance de la evaluación consistió en el estudio de diferentes casos de operar Sierra Miranda, como explotación a través de un rajo abierto y/o subterráneo, apoyando los estudios conceptuales con las asesorías de María Eugenia Segovia Concha (modeladora y evaluadora de Recursos & Reservas) en Geología; la empresa GEMCOM en cuanto a explotación subterráneo y la empresa METALICA la parte de explotación rajo abierto.

Para este trabajo se conformó un equipo multidisciplinario liderado por el Sr. Juan Carlos Román, Vicepresidente Optimización de Activos y Estrategia Operacional, Sr. Sergio Parada, Gerente General de División Mantos Blancos y por profesionales de diferentes especialidades tanto de Santiago y Mantos Blancos, este trabajo fue dirigido por la Gerencia Optimización de Activos y Estrategia Operacional de la Operación Mantos Blancos de Anglo American.

Para la etapa inicial del proceso, se realizaron visitas técnicas al yacimiento Sierra Miranda por parte de las áreas técnicas de Anglo como: Geología, Geomecánica e Ingeniería, donde se obtuvieron informes preliminares que indicaron que la posibilidad de avanzar a un estudio conceptual procedían y que las condiciones actuales del distrito permitían realizar el estudio de casos indicado anteriormente.

En breve el programa y método de trabajo consistió en una primera etapa en la recolección de toda la información disponible en el yacimiento Sierra Miranda referida a: campañas sondajes, producciones, infraestructura, costos, disponibilidad de agua, energía, aspectos legales, etc.

Con toda la información de sondajes, labores y caserones subterráneos se diseñaron los cuerpos en 3D de las estructuras geológicas (vetas) que posee el yacimiento. A través de la Superintendencia Geología de división Mantos Blancos se desarrolló los modelamientos de los cuerpos geológicos vetiformes y posterior estimación de los recursos mineros. Con este modelo se modelaron varios escenarios de análisis de explotación a través de métodos subterráneo y/o rajo abierto. Cada uno de estos diseños mineros involucró las estimaciones de las reservas mineras, para luego realizar las correspondientes evaluaciones financieras de cada caso.

Descripción trabajo Geología: (Superintendencia Geología y Consultora Eugenia Segovia). Este trabajo correspondió a una estimación de recursos de un yacimiento parcialmente explotado. El área estudiada contiene un volumen de 4,000 x 5,500 m<sup>2</sup> y 800 metros de profundidad. Se dispone de 821 sondajes con un total de 104,669.5 metros. También se cuenta con modelamientos parciales de algunas de las vetas en forma de sólidos.

Con la información entregada se construyeron los cuerpos vetiformes mineralizados 3D compuesto por bloques de 4 m. x 10 m. x 4 m.

Con la geometría de las vetas definidas, se procede a estimar la variable CuT al interior de las vetas, los resultados son los siguientes:

Para una ley de corte superior o igual a 0.2% CuT y sin descontar el mineral extraído se tiene: 69.25 MT @ 0.53%CuT, equivalentes a 0.367 MT de Cobre fino.

Descripción trabajo GEOMCOM y Optimización de Activos Mantos Blancos:

El objetivo de este trabajo es describir la situación actual de las operaciones y planificación de Sierra Miranda y con ello dar respuesta a una serie de interrogantes respecto del futuro de estas, además, desarrollar un análisis preliminar de la factibilidad de ser explotada a cielo abierto o el aumento de capacidad de producción si se continúa explotando subterráneamente.

Se ha considerado dos aspectos básicos: Condiciones actuales y potencialidades del yacimiento.

Descripción trabajo METALICA Consultores y Optimización de Activos Mantos Blancos:

Este depósito está constituido por sistemas de vetas con dirección Norte-Sur y mineralogía oxidada de cobre: crisocola, atacamita y malaquita. El método de explotación utilizado para su desarrollo es Sublevel Stopping, por lo que la mina tiene una importante cantidad de labores y caserones, los que fueron reconstruidos para este estudio y considerados en los análisis del recurso geológico remanente.

El estudio de reservas extraíbles, consideró las siguientes alternativas:

- Capacidad Máxima de Movimiento Mina: 100, 50 y 25 ktpd.
- Capacidad Máxima de Producción de Cátodos de 20.000 ktpa
- Sin restricción de bancos por año en cada fase
- Sin limitación de desfase de bancos entre fases distintas.

En este estudio se consideró la matriz de costos (mina y planta) validada por Mantos Blancos, además, se consideró un precio del cobre de largo plazo de 2.1 US\$/lb y bajo las orientaciones técnicas y económicas descritas, las reservas extraíbles de Sierra Miranda corresponden a 12.3 Mt a una ley media de 0.47 % CuS, con una razón lastre mineral de 4.3. El mejor plan minero, confeccionado con el algoritmo de Milawa balanceado se encuentra dado por un ritmo de producción mina de 100 ktpd de movimiento mina total y una capacidad máxima

de producción de cátodos de 20.000 toneladas de cobre fino año, comprendiendo una vida productiva de 3 años.

Evaluación económica del yacimiento Sierra Miranda:

Se concluye que el mejor Net Present Value (NPV) estimado es de 15 MUS\$, con un IRR de 225% y una inversión inicial de 22 MUS\$, resultando el proyecto poco atractivo a la luz de los antecedentes que indicaban, que Sierra Miranda formalmente pretendía obtener un valor de compra del distrito de 80 MUS\$, más un Royalty equivalente a 3.0 MUS\$ por año. En adición se debiesen incorporar al proyecto los compromisos financieros de Sierra Miranda y el plan de cierre de la mina. Ver Tabla 1

ITEM	Unidad	VALOR
Roca	kdmt	14.100
Ley	%	0,49
Recuperación	%	72,98
Cobre Fino	KTon	50,3
VPN	US\$m	14,7
IRR	%	225
Inversión	US\$m	22
Vida Útil	años	5

Tabla 1: Resultados del Proyecto

Como cierre de este proceso, se realiza una presentación al Presidente de Anglo American Chile Sr. Miguel Angel Durán con la participación del Vicepresidente de AO Sr. Juan Carlos Román; el Gerente General de la División Mantos Blancos Sr. Sergio Parada, el Gerente de AO Santiago Sr. Cristian Chandia y el equipo de AO de división Mantos Blancos, donde se analiza y formaliza todo lo indicado en el precedente documento.

## **2 Introducción**

En Anglo American buscamos ser una compañía líder en el mundo, lo que implica convertirnos en la inversión, el socio y empleador preferido. Para cumplir esta meta promovemos los más altos estándares de excelencia operacional, seguridad y sustentabilidad en todas nuestras operaciones.

En el desarrollo del plan estratégico de Anglo American operación Mantos Blancos denominado Life of Mine 2011, considera una producción promedio anual entre los años 2012 y 2021 de 70.000 toneladas de cobre, mediante sus procesos flotación (sulfuros) y lixiviación (óxidos). La capacidad de planta por la línea de sulfuro se encuentra en su capacidad máxima de diseño, en cambio, la capacidad de la nave Extracción por Solventes y Electrowining es de 60.000 toneladas por año, actualmente el plan sólo considera una producción de 34.000 toneladas por año, por lo tanto, se ha identificado una oportunidad de aumentar la producción de cobre a través de la línea de minerales oxidados, debido a que la planta actual de cobre tiene una capacidad ociosa.

Durante segundo semestre del 2011, se gestionó la alternativa de revisar opciones de negocio en relación al yacimiento Sierra Miranda por parte de Anglo American Copper.

## **3 Objetivos**

Diseñar y desarrollar un modelo de negocio minero que pueda generar a través de la optimización de los activos agregar valor a la operación de Mantos Blancos. La oportunidad de negocio es maximizar la capacidad instalada de la planta de óxido la cual actualmente está a un 56% de su capacidad de diseño, esto es debido a que las leyes de alimentación a planta han ido decreciendo a través del tiempo, al completar la capacidad de producción, se podrá mejorar el perfil de costos operacionales y así situarnos en el segundo cuartil de costo de la industria minera nacional. Este trabajo está alineado con la visión estratégica de Anglo American Copper cuanto a *“Una rigurosa planificación de la mina y el entregable de esos planes, es esencial si queremos cumplir con nuestro objetivo estratégico de 1.5 millones toneladas de cobre fino”*.

La promesa de valor consiste en identificar los impulsores de valor KVD's (Key Value Driver) del modelo de negocio planteado con la finalidad de maximizar el valor presente neto de la Operación Mantos Blancos.

La optimización de los activos puede lograr a través de las siguientes alternativas: Aumento de producción de cobre vía la planta de óxido, Disminución de costos de operación, Aumento Life of Mine (aumento de la vida de la mina)

#### 4 Mercado del cobre y economías emergentes

Crecimiento de las clases medias en países emergentes como China e India.

El cobre es un excelente conductor eléctrico y térmico, además, tiene destacadas características anticorrosivas. Más del 50% cobre se utiliza para fabricar alambres destinados a producir distintos tipos de cables eléctricos, estos son utilizados principalmente en construcción y elaboración de equipos eléctricos y electrónicos, además, de otros bienes de consumo productos que presentan una elevada demanda por parte de las clases medias de China e India, este es un patrón habitual dentro de las clases medias de cualquier país, pero este efecto es relevante, ya que la gran población de estos países por sí solos pueden generar fluctuaciones de la demanda de cobre.

En la Tabla 2 se muestra se puede apreciar el Producto Interno Bruto (PIB) entre los países Emergentes, Desarrollados y Total Mundial.

Décadas	Países								
	Emergentes			Desarrollados			Total Mundial		
	Consumo	PIB	Elasticidad	Consumo	PIB	Elasticidad	Consumo	PIB	Elasticidad
1980 -1990	-0,2%	3,4%	-0,1	2,4%	3,3%	0,7	1,5%	3,3%	0,4
1990 - 2000	5,1%	3,9%	1,3	2,7%	2,8%	1,0	3,4%	3,2%	1,1
2000 - 2010	8,1%	6,2%	1,3	-2,4%	1,6%	-1,5	2,4%	3,6%	0,7

Tabla 2: Consumo, PIB y Elasticidad Países en el Mundo

Al ver los resultados de la Tabla 2 se puede observar que el PIB de los países Emergentes, en el cual incluye China e India, entre los años 1980 y 2010 ha ido en alza, en cambio en los países Desarrollados ha ido decreciendo el PIB.

Por lo tanto, se puede concluir lo siguiente:

**Oferta primaria:** En el corto plazo, es bajo el nivel de incidencia que tendría esta condición, debido a que los factores productivos y en especial los de la industria del cobre no son modificables, en el mediano y largo plazo, debiesen adelantarse algunos proyectos y ampliaciones en carpeta, de manera tal, de aprovechar la sobredemanda producto del crecimiento de las clase medias que por su cuantía, generan un aumento del PIB de estos países. La razón de construcción en China hoy en día, es comparable con la construcción cada dos semanas de una ciudad similar a Roma.

Un crecimiento continuo de la población al año 2039, hace prever una gran demanda por viviendas en China. Según datos del EIU, entre 2011 y 2020 la población debería expandirse un 26,1% y su ingreso disponible crecería unas 2,6 veces, llegando a unos US\$ 7.500 per cápita.

**Oferta secundaria:** Los consumos de cobre secundario en las últimas dos décadas han aumentado un 55%, si a esto le sumamos el crecimiento que podría tener las clases medias hace prever que la oferta secundaria tendría el mismo comportamiento que la primaria.

**Consumo:** En el corto, mediano y largo plazo debiese haber un aumento en el consumo debido al mayor poder adquisitivo de las clases medias en estos países, además, de la fuerte migración desde las zonas rurales hacia la parte urbana. El crecimiento de China como ya fue mencionada será en forma exponencial.

En China la urbanización y el crecimiento del ingreso actuarán como los principales motores de crecimiento de la demanda en cuanto a vivienda. A medida que aumenten los ingresos, la adquisición de propiedades y vehículos la accesibilidad se convertirá en un problema menor y las ciudades iniciarán su

dispersión, lo que a su vez debe conducir a un aumento del tamaño de la vivienda a medida que el espacio se vuelve menos escaso.

**Stocks:** En el corto plazo debiese aumentar el déficit de balance entre la oferta y demanda, es decir, los stock de cobre se deberían ver con una clara tendencia hacia la baja, en el mediano y largo plazo el balance entre oferta y demanda de cobre, debiese tender a un nivel de equilibrio que aunque sea precario, debiese tender al equilibrio aumentando en forma paulatina.

**Precio de Mercado:** En el corto plazo una clara tendencia alcista, en el mediano y largo plazo esta tendencia debiese aminorar.

### **Precios Históricos:**

Período Años	Precio Cobre cUS\$/lb
1908 - 1932	193,0
1933 - 1960	152,8
1961 - 2002	193,6
2003 - 2010	257,0

Tabla 3: Precio del cobre entre 1908 y 2010

Tal como se puede apreciar en Tabla 3, referente al registro histórico de los precios del cobre, entre el periodo comprendido entre los años 1908 y 2010. La demanda por cobre aumentaría debido a lo ya antes señalado, lo que implicaría probablemente que los precios del metal rojo se mantendrán por sobre los valores expuestos en esa tabla de precios históricos, lo que se debe tener presente, es que seguramente existirán ciclos de precios altos y otros más bajos. Por lo tanto, se pueden hacer rentables proyectos mineros que antes no lo eran, por lo que podría aumentar la oferta.

#### **4.1 Descripción del mercado**

Para el desarrollo de este trabajo se consideran como marco de referencia que se adjunta en la Tabla 4.

	Unidad	2011	2012	2013	2014	2015	LT
Precio del Cobre (Real)	US\$/lb	3.80	3.79	3.63	3.09	2.53	2.17
Tipo Cambio	US\$/CLP	480.0	475.2	471.0	495.9	518.3	518.3
IPC	%	2.50	3.15	3.12	3.12	3.00	3.00
CPI	%	1.54	2.12	2.17	2.25	2.25	2.25

LT: Representa el valor de largo plazo estimado por Anglo American

Tabla 4: Marco Referencia correspondiente al Life of Mine 2011

En un análisis el enorme aumento en la demanda y en la proyección de la demanda que indica que el 2020 superará con creces la oferta, se ha especulado que los precios futuros de ese año bordearan los 6 US\$/Lb.

El precio de hoy está dado principalmente por los niveles de crecimiento de China e India, los países que conforman a los países emergentes y recuperación lenta de la Unión Europea. Lo que ha producido una mayor demanda, ha aumentado el déficit de balanza (mayor demanda que oferta). Este escenario de mayor demanda y una oferta con menor crecimiento que el requerido, se debe a que las minas cada vez tienen leyes más bajas, mineralización de cobre está más profunda, con minas que ya están explotando el cobre de rajos abierto con profundidades mayores a los 1.000 metros, otras como el mítico yacimiento Chuquicamata que a contar del 2018 será explotado por minería subterránea, con niveles de producción muy altos, lo que provocará alza de precio del metal rojo.

En este sentido cabe destacar las millonarias carteras de proyectos que han anunciado para los próximos años Chile y Perú, dos países con tradición minera y que han apostado por esta industria como base de desarrollo, promoviendo condiciones favorables para el dinamismo del rubro. Ello se traduce, en el caso de Chile, en un plan de inversiones por casi US\$ 50.000 millones en proyectos "Greenfield" y "Brownfield" al 2015; en Perú, en tanto, las inversiones proyectadas para los próximos años en exploración, explotación y ampliaciones mineras superan los US\$ 35.000 millones, según estiman las autoridades sectoriales de los respectivos países. Argentina y Colombia también se están sumando a este fenómeno, cada vez más convencidas del potencial desarrollo económico y social

que tiene una industria minera seria y sustentable. Ver Tabla 5 de proyectos en el Chile en los próximos hasta el 2020, llegando a producir 8.500 millones de toneladas de cobre hacia el 2020.

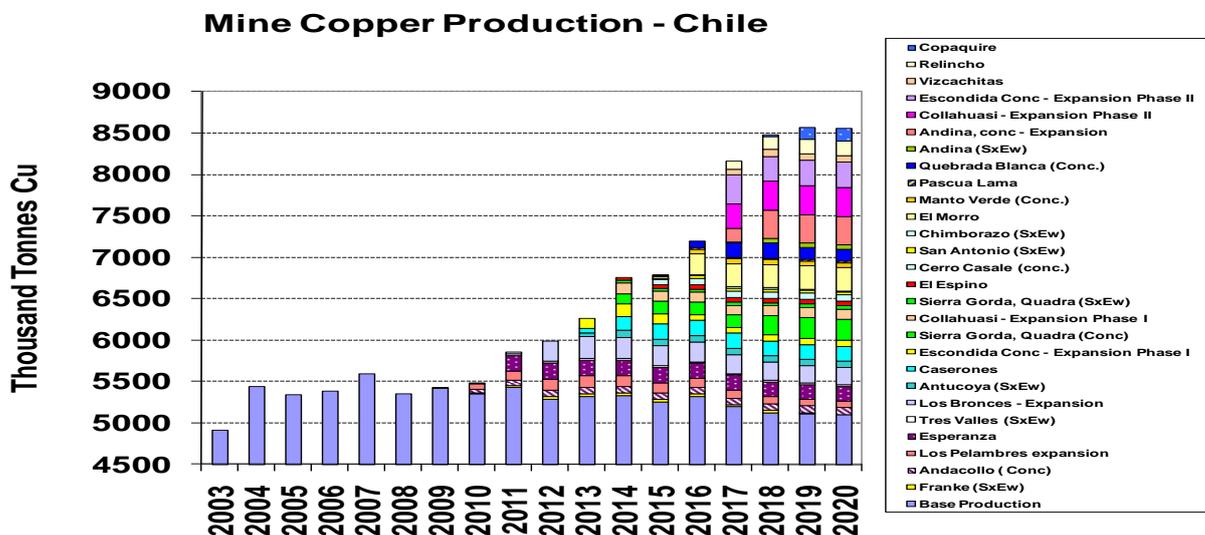


Tabla 5: Producción de Cobre en Chile hasta el 2020

A continuación se muestran en la Tabla 6, las estimaciones del precio del cobre en el largo plazo hasta el 2015, mostrando diferentes empresas que se dedican a estimar el precio del metal rojo siempre con precio superiores a los 3 US\$/lb entre el periodo 2011 y 2015.

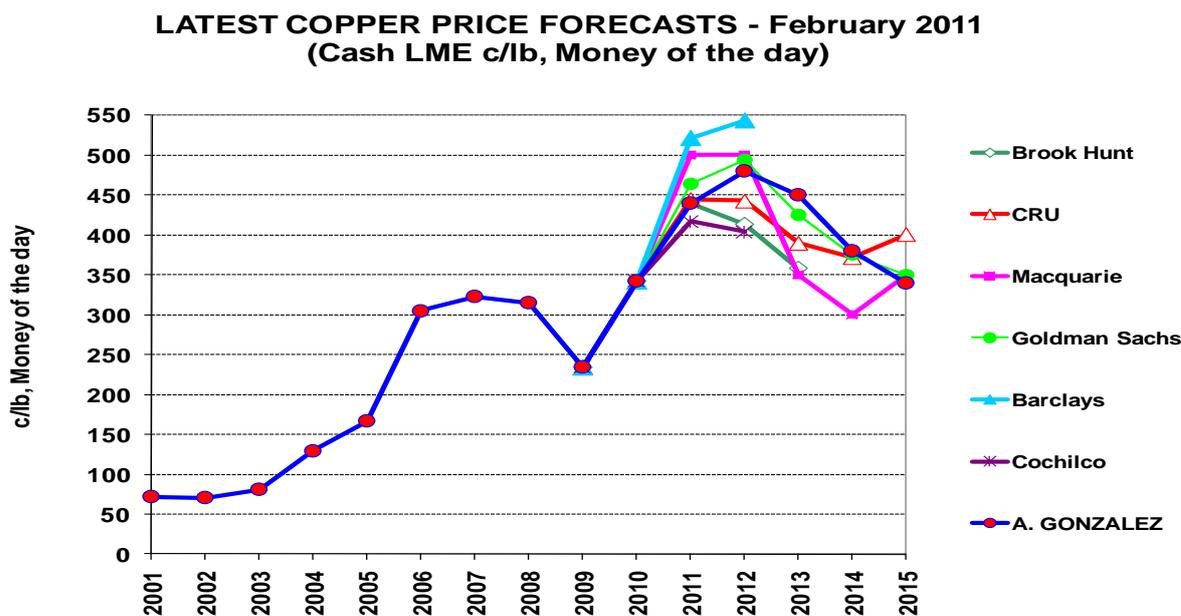


Tabla 6: Precio del Cobre en el largo plazo

Con estos antecedentes antes mencionado y con los niveles del precios de los metales y en especial del cobre, cada día se hace mas atractivo explorar la oportunidad de satisfacer la capacidad disponible en la planta SX-EW de Mantos Blancos, ya sea a través compra de mineral y/o soluciones, a terceros.

## **5 Descripción del tema**

Anglo American está enfocada en generar valor a través de la la nueva gerencia de Optimización de Activos y Estrategia Operacional, generando un proceso estructurado partiendo desde la oportunidad, iniciativa, idea y por último el proyecto propiamente tal. Esa gerencia de preocupa entre otras cosas, de crear valor para la compañía a través de la gestión de los Key Perform Indicator (KPI) ó Key Value Driver (KVD), que son los conductores de valor del negocio. Para aplicar correctamente la creación de valor y no incurrir como muchas veces en la destrucción de valor, se debe, utilizar herramientas como los “Arboles de Valor”, en donde se identifica el ó los conductores de valor que estan afectando al negocio y por ende el Valor Presente Neto de la operación minera.

Con los niveles actuales de precio del cobre a nivel internacional y con la proyección de crecimiento del PIB de los países BRIC (Brasil, Rusia, India y China), en especial ahora China y posteriormente India, con un consumo pércapita de cobre muy inferior a los países desarrollados, se nos presenta para Mantos Blancos un tremenedo desafios en cuanto a mejorar la máximo la capacidad productiva, la gran ventaja que tiene Mantos Blancos, es que hoy día tiene una capacidad de planta de cátodos osiosa y lo mas importante depreciada en gran parte, operando con los más altos estandares, es decir, estos permitira producir cobre a un costo muy competitivo, acercándose al segundo cuartil de costos y poder extende la vida de la operación minera más alla del 2030.

Debemos seguir trbjando en forma permanente para que nuestra labor a nivel regional represente el resultado de un trabajo sistematico basado en las prácticas de excelencia de la cultura Anglo American. La explotación de nuevas reservas mineras perimitirán la extensión de la vidad útil del yacimiento hasta el año 2030, proyectando a Mantos Blancos hacia el futuro de una forma segura, rentable y

sustentable. Esto nos permite seguir trabajando con nuestras comunidades vecinas, manteniendo nuestro compromiso con el desarrollo local y continuar siendo un referente en la minería regional.

### **5.1 Objetivos, promesa de valor y resultados esperados del trabajo**

En el caso de los objetivos del trabajo estos se exponen a continuación:

Diseñar y desarrollar un modelo de negocio minero que pueda generar a través de la optimización de los activos agregar valor a la operación de Mantos Blancos. La oportunidad de negocio es maximizar la capacidad instalada de la planta de óxido la cual actualmente está a un 56% de su capacidad de diseño, esto es debido a que las leyes de alimentación a planta han ido decreciendo a través del tiempo, al completar la capacidad de producción, se podrá mejorar el perfil de costos operacionales y así situarnos en el segundo cuartil de costo de la industria minera nacional. Este trabajo está alineado con la visión estratégica de Anglo American Copper realizar *“Una rigurosa planificación de la mina y el entregable de esos planes, es esencial si queremos cumplir con nuestro objetivo estratégico de 1.5 millones toneladas de cobre fino”*.

La promesa de valor de esta tesis se basa en los siguiente:

Esta consiste en identificar los impulsores de valor KVD's (Key Value Driver) del modelo de negocio planteado con la finalidad de maximizar el valor presente neto de la operación Mantos Blancos.

La optimización de los activos puede lograr a través de las siguientes alternativas:

- Aumento de producción de cobre vía la planta de óxido.
- Disminución de costos de operación
- Aumento Life of Mine (aumento de la vida de la mina)

Los resultados esperados debe ir en la siguiente dirección:

Con este trabajo se pretende demostrar que por la “Optimización de Activos” en Anglo American se pueden gestionar oportunidades de negocios, lo que va a permitir agregar valor al negocio minero y por ende aporta a la visión de la compañía. Además de dar sustentabilidad a nuestros trabajadores que por más de 50 años están aportando con su trabajo a Mantos Blancos.

## 5.2 Marco conceptual

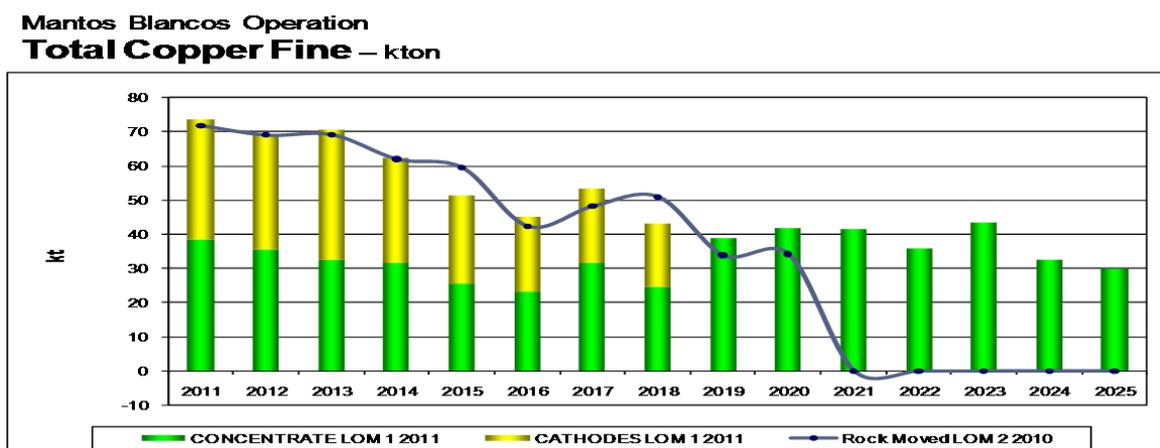


Figura 1: Producción Cobre en toneladas – Life of Mine 2011 I

Al observar el Figura 1 se puede inferir que existe un gaps en la producción de cobre obtenido vía cátodos, cabe recordar que la nave SX-EW esta diseñada para producir al año 60.000 toneldaaas de cobre, por lo tanto, la oportunidad existe claramente en la operación Mantos Blancos, con la alternativa de mejorar el perfil de producción y por ende tambien una reducción de los costos operacionales.

Esta tesis va a considerar las siguientes alternativas a estudiar:

- Yacimiento Sierra Miranda, compra de la propiedad
- Evaluación mejoe alternativa explotación (Subterranea y/o rajoa abierto)

Las etapas a considerar son las siguientes:

### En el caso Sierra Miranda:

Para la etapa inicial del proceso, se realizaron visitas técnicas al yacimiento Sierra Miranda por parte de las áreas técnicas de Anglo como: Geología, Geomecánica e Ingeniería, donde se obtuvieron informes preliminares que indicaron que la

posibilidad de avanzar a un estudio conceptual procedían y que las condiciones actuales del distrito permitían realizar el estudio de casos indicado anteriormente.

En breve el programa y método de trabajo consiste en una primera etapa en la recolección de toda la información disponible en el yacimiento Sierra Miranda referida a: campañas sondajes, producciones, infraestructura, costos, disponibilidad de agua, energía, aspectos legales, etc.

Con toda la información de sondajes, labores y caserones subterráneos se diseñaron los cuerpos en 3D de las estructuras geológicas (vetas) que posee el yacimiento. A través de la Superintendencia Geología de división Mantos Blancos se desarrolló en forma preliminar durante el año 2011 y está en diseño final el 2012 el modelamiento de los cuerpos geológicos vetiformes y posterior estimación de los recursos mineros. Con este modelo se modelaron varios escenarios de análisis de explotación a través de métodos subterráneo y/o rajo abierto. Cada uno de estos diseños mineros involucró las estimaciones de las reservas mineras, para luego realizar las correspondientes evaluaciones financieras de cada caso.

### **5.3 Método(s) a utilizar en la solución del tema**

La metodología a proponer es un trabajo a desarrollar que considera a lo menos los siguientes aspectos:

Dependiendo la elección del modelo de negocio a desarrollar (compra yacimientos, compra mineral y/o soluciones, mixto) el trabajo se evaluará abordando los siguientes aspectos importantes, tales como: antecedentes preliminares, modelos de recursos mineros, planificación minera, geomecánica, metalurgia, modelo económico, evaluación económica, estrategias para negociar y recomendaciones del negocio. Específicamente se analizará los siguientes tópicos:

- Antecedentes generales
- Objetivos específicos
- Modelo recursos y reservas mineras
- Infraestructura

- Métodos de explotación (Subterráneo vs Rajo Abierto)
- Producción cobre fino
- Costos operacionales (Opex) e Inversiones (Capex)
- Evaluación, estratégico, técnico y económico
- Resultados
- Recomendaciones
- Responsabilidad Social y Medio Ambiente

## **6 Modelo Negocio Sierra Miranda**

### **6.1 Ubicación**

Sociedad Contractual Minera Sierra Miranda se encuentra ubicada a 50 km al Noreste de la ciudad de Antofagasta, a 25 Km al noroeste de la empresa Minera Mantos Blancos. La altura del sector de Sierra Miranda varía entre los 1.200 y 1.500 m.s.n.m. El acceso desde la ciudad de Antofagasta se realiza siguiendo 30 kilómetros por la carretera Panamericana Norte hasta la estación Prat. Desde ese lugar se sigue por un desvío de 35 kilómetros en dirección noroeste por un camino de tierra, el cual conduce al área de las instalaciones industriales. La Figura 2 muestra un plano de ubicación de la operación y el polígono que delimita la propiedad minera de Sierra Miranda.

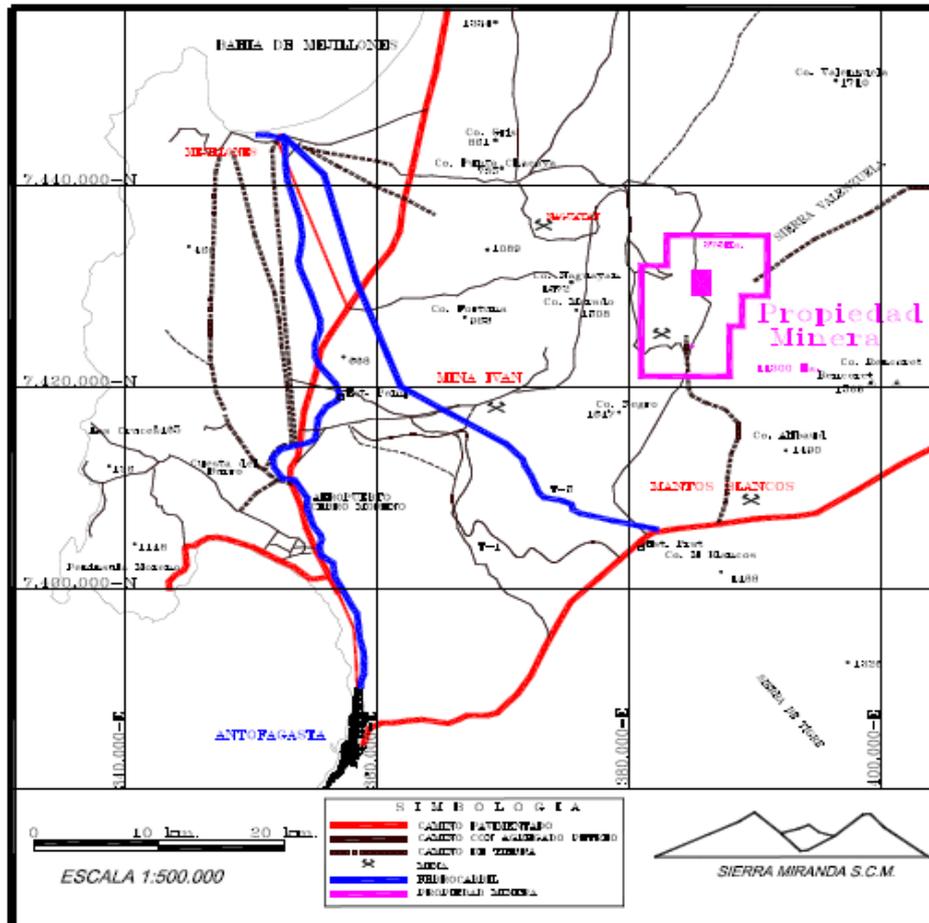


Figura 2: Plano de ubicación y Propiedad Minera de Sierra Miranda

## 6.2 Geología

Sierra Miranda está constituida por sistemas de vetas con dirección preponderante Norte-Sur, controlada por estructuras, tal como muestra la Figura 3. La falla de Atacama, la cual está relacionada con los depósitos más grandes de cobre porfídico de Chile, está dentro de las pertenencias de Sierra Miranda. En cuanto al contenido mineralógico, se observa principalmente crisocola, atacamita y malaquita.

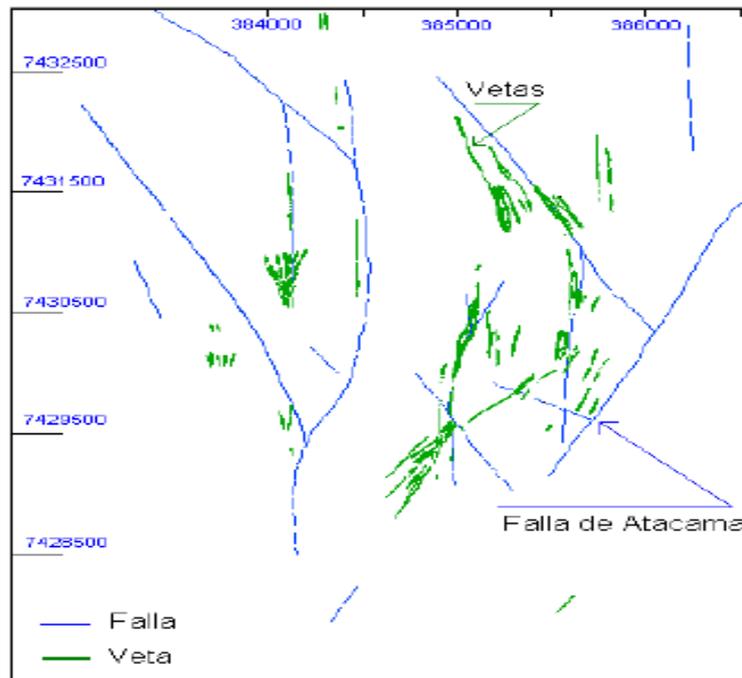


Figura 3: Sistema de Veta y Geología Estructural

### 6.3 Actual Método de Explotación y Proceso

El método de explotación utilizado es el Sublevel Stopping. Este método consiste en desarrollar socavones de 5 m. x 5 m. que siguen la mineralización de las vetas principales y secundarias. Para soportar los caserones (espacios abiertos) que se originan en la explotación, se dejan pilares de 15 m. de ancho para la estabilidad de las labores. La unidad de explotación corresponde a bloques de mineral de dimensiones aproximadas de 50 m. de largo x 35 m. de alto x 4 m. de ancho. Cuando en la dirección vertical, la columna mineralizada se extiende más allá de los límites mencionados se fija una altura máxima de explotación de 120 m. Alcanzado ese límite, se deja un Crown Pillar de 15 m. para luego generar otros bloques en niveles inferiores. Con este método la recuperación de reservas es del orden del 77%. La Figura 4 muestra un perfil con un diagrama del método de explotación en elevación. El ritmo de producción de la mina previsto para el año 2008 que incluye la producción con personal propio y aporte de contratistas es del orden de 3 millones de toneladas de mineral al año, cifra similar a la que se verificó para el 2007.

El mineral es recolectado en galerías y estocadas de recepción de mineral por medio de cargadores de bajo perfil LHD y transportado por camiones de 25 ton hasta las estaciones de chancado, que se encuentra a una distancia media de la bocamina de 1.500 a 2.500 m.

Sierra Miranda produce soluciones enriquecidas en cobre (PLS) y cátodos de cobre electrobttenidos a partir del procesamiento hidrometalúrgico de minerales oxidados.

Las etapas del proceso de obtención del cobre por la vía hidrometalúrgica son: chancado y aglomeración, lixiviación, extracción por solvente y electrobtención (LIX-SX-EW).

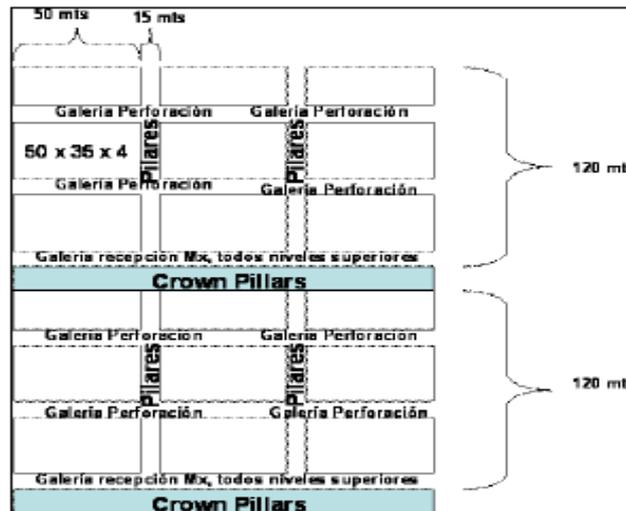


Figura 4: Elevación en Perfil del Método de Explotación

## 7 Modelo Recursos y Reservas Mineras

### 7.1 Resumen Ejecutivo

El presente ejercicio corresponde a una estimación de recursos de un yacimiento parcialmente explotado, con sectores potenciales de explotación.

El área estudiada contiene un volumen de 4000 x 5500 m<sup>2</sup> y 800 m. de profundidad.

Se dispone de 821 sondajes con un total de 104669.5 metros. También se cuenta con modelamientos parciales de algunas de las vetas en forma de sólidos.

Con la información entregada se construyeron las vetas como cuerpos 3D compuesto por bloques de 4 m. x 10 m. x 4 m.

Con la geometría de las vetas definidas, se procede a estimar la variable CuT al interior de las vetas, los resultados son los siguientes:

Para una ley de corte superior o igual a 0.2%CuT y sin descontar el mineral extraído se tiene:

69.25 MT @ 0.53%CuT, equivalentes a 0.367 MT de Cobre fino.

### 7.2 Información Proporcionada

Se cuenta con información de un archivo de sondajes en coordenadas UTM, los cuales presentan leyes de CuT y en proporción muy menor, leyes de CuS.

También se entregan los siguientes archivos:

- Archivos con sólidos correspondientes un modelamiento previo de algunas de las vetas.
- Archivos con sólidos de labores subterráneas: caserones, galerías, etc.
- Informe con orientaciones (promedio) de cada conjunto de vetas.

### 7.3 Tratamiento de las Muestras

Se entrega un archivo de sondajes 821 sondajes con un total de 104.669 m. perforados. La base de datos de las muestras presenta longitudes de análisis químico muy variable. Se analizan las poblaciones por longitud de compósitos. Se decide compositar los tramos a 4 m. para ser concordante con el prototipo del modelo de bloques requerido.

El 86% de los tramos tiene longitudes menores o igual al soporte de cuatro metros.

Los tramos restantes, se compositan a una longitud de tramo de 6 metros para tener un soporte de muestra comparable con la mayoría de los compósitos.

A partir de estos, se generan la variable indicador para configurar la geometría de las vetas.

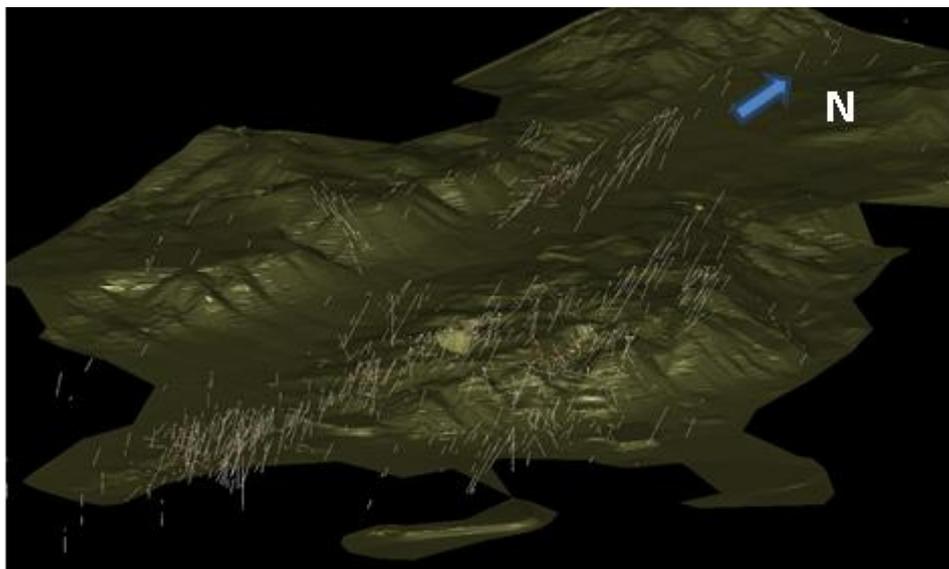


Figura 5: Vista 3D Topografía y sondajes Sierra Miranda.

### 7.4 Generación de Vetas

Según la información proporcionada, las vetas tienen potencia variable desde 2 a 5 m., llegando hasta 10 a 15 m. en algunos casos. Se confecciona un prototipo de modelo de bloques (X,Y,Z) de 4 m. x 10 m. x 4 m., y así tomar en cuenta de mejor

manera la geometría de las vetas. El prototipo del modelo de bloques es el siguiente:

XMORIG	YMORIG	ZMORIG	NX	NY	NZ	XINC	YINC	ZINC
384.250	7.428.000	782	1101	701	21	4	10	4

La metodología empleada en el modelamiento de las vetas corresponde a una interpolación de indicadores, en el que a cada bloque se le asigna una probabilidad de pertenecer o no a una determinada configuración de veta.

Para este propósito, se genera la variable indicador, que en este caso corresponde una ley de corte de 0.2 %CuT. Esto se justifica porque la roca de caja prácticamente no tiene mineralización. La variable de indicador se define como sigue:

$$\text{VIND: variable de indicador:} \begin{cases} 1 & \text{si } \text{CuT} \geq 0.2\% \text{CuT} \\ 0 & \text{si } \text{CuT} < 0.2\% \text{CuT} \\ - & \text{si } \text{CuT} \text{ es ausente} \end{cases}$$

Mediante un interpolador lineal, (IDP2 en este caso), se estima la variable indicador utilizando un volumen de búsqueda de acuerdo a la orientación y geometría de cada una de las vetas (según información proporcionada).

Estimada la variable indicador, se consideran los bloques con probabilidad mayor o igual a 0.55.

Se revisa el modelo de bloques que configuran las vetas y se efectúan algunas correcciones utilizando información de relleno, esto con la finalidad de dar continuidad a algunos cuerpos que se entrecortan producto de restricciones propias que implican el utilizar un volumen de búsqueda acotado, como así también la consideración de bloques con probabilidad de 0.55 como mínimo.

Las orientaciones y radios de búsqueda para interpolar la geometría de las vetas son:

COD-VETA	REC	SUBCOD-VETA	VETA	AZI	DIP	RX	RY	RZ
1	1	11	VETA-CECILIA-NORTE-NORTE	-25	10	4	120	50
1	2	12	VETA-CECILIA-NORTE	-10	7.5	4	90	50
1	3	13	VETA-CECILIA-CENTRO	7	5	4	90	50
1	4	14	VETA-CECILIA-SUR	15	10	4	90	50
2	5	2	VETA-CLAUDIA	0	37.5	4	90	50
3	6	3	VETA-FIORELLA	-35	15	4	90	50
4	7	4	VETA-MARCELA	-15	47	4	90	50
5	8	51	VETA-NICOLASA-W	-40	30	4	90	50
5	9	52	VETA-NICOLASA-CENTRO	-20	0	4	90	50
5	10	53	VETA-NICOLASA-NORTE	-12	0	4	90	50
5	11	54	VETA-NICOLASA-CENTRO-SUR	-8	14	4	90	50
5	12	55	VETA-NICOLASA-SUR	-8	14	4	90	50
5	13	56	VETA-NICOLASA-NORTE-NORTE	0	0	4	120	50
6	14	6	VETA-TERESITA	0	30	4	90	50
7	15	71	VETA-VILMA	0	10	4	90	50
7	16	72	VETA-VILMA	0	10	4	90	50
9	17	91	VETA-REBECA-NORTE	-15	30	4	120	50
9	18	92	VETA-REBECA-CENTRO-NORTE	-5	25	4	90	50
9	19	93	VETA-REBECA-CENTRO	5	25	4	90	50
9	20	94	VETA-REBECA-CENTRO-SUR	15	25	4	90	50
9	21	95	VETA-REBECA-SUR	15	25	4	90	50
9	22	96	VETA-REBECA-SUR-SUR	15	25	4	90	50
10	23	10	VETA-CHABUCA	0	30	4	120	50
11	24	111	VETA-NANCY	5	25	4	120	50

Tabla 7: Parámetros de búsqueda estimación de indicadores.

Las variables que participan en el modelo de bloques de las vetas son:

VIND: Probabilidad resultante de la interpolación ( $\geq 0.55$ ).

NS: Número de compósitos que participan en la estimación de la variable VIND.

ELLIND: Plan de búsqueda empleado en la estimación de la variable VIND.

MDIST: Distancia promedio (porcentual) de las muestras que participan en la estimación de la variable VIND.

Construido el modelo de bloques con la geología asociada, se flagean los compósitos que se encuentran dentro de los cuerpos modelados.

Las vetas modeladas se muestran a continuación en la siguiente figura 6.

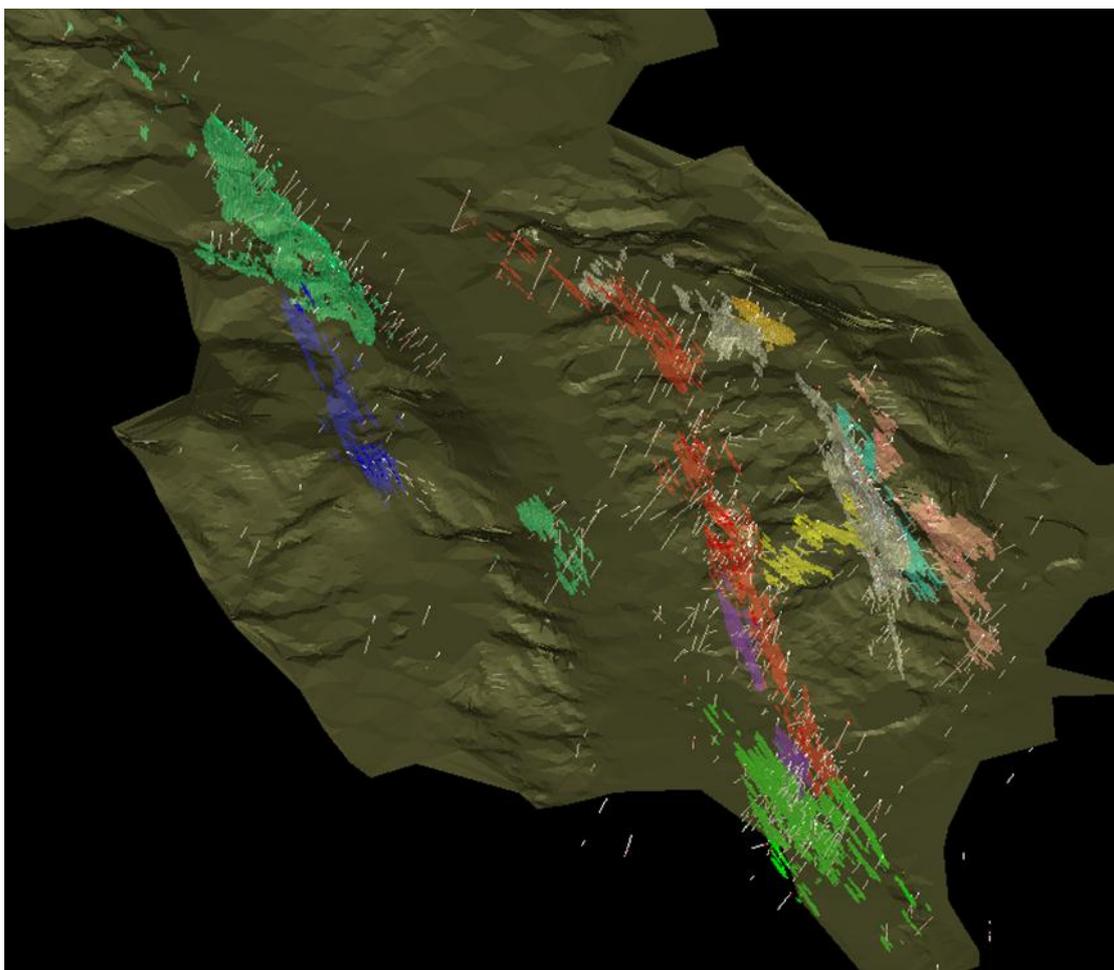


Figura 6: Vista 3D Topografía, sondajes y vetas modeladas.

### 7.5 Estadística Básica

Un análisis estadístico previo de las muestras que se encuentran dentro de las vetas, arrojan en general un comportamiento Unimodal, con una media global de ley de CuT igual a 0.52 y una desviación estándar igual a 0.49, evidenciado una alta variabilidad de las leyes. Se aprecia la presencia de outliers altos, a los que se aplica un capping al momento de estimar ( $\leq 2\%CuT$ ).

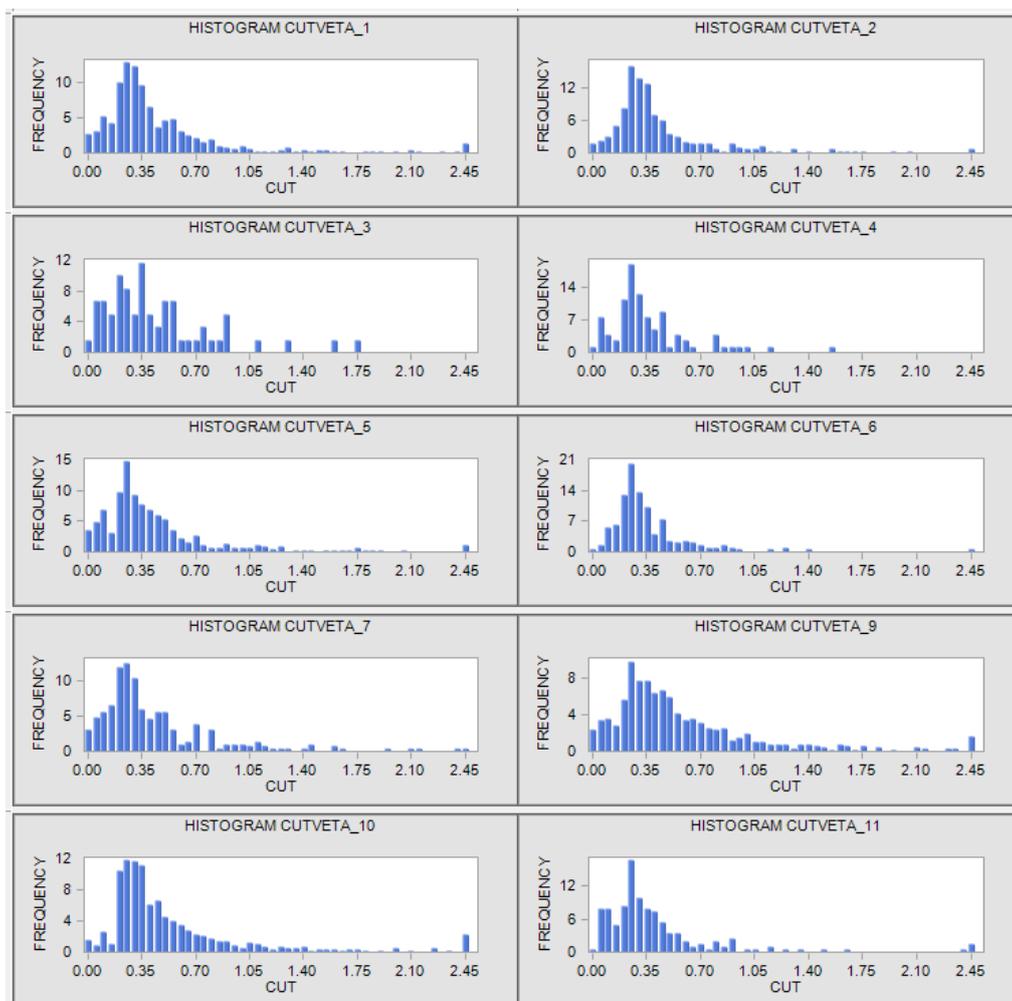


Figura 7: Histogramas individuales por conjunto de vetas.

A continuación una tabla con las estadísticas básicas (desagrupadas con celdas de 12 m. x 20 m. x 8 m.) de los compósitos dentro de cada una de las vetas.

VETA	COMPÓSITOS		CUT-%			
	[N°]	[%]	[MIN]	[MEAN]	[MAX]	[STD]
VETA-CECILIA (1)	861	20.59	0.00	0.49	6.45	0.54
VETA-CLAUDIA (2)	285	6.82	0.04	0.48	3.82	0.41
VETA-FIORELLA (3)	60	1.44	0.07	0.50	1.80	0.37
VETA-MARCELA (4)	79	1.89	0.05	0.40	1.59	0.27
VETA-NICOLASA (5)	693	16.57	0.00	0.45	8.00	0.49
VETA-TERESITA (6)	199	4.76	0.09	0.39	2.10	0.25
VETA-VILMA (7)	285	6.82	0.00	0.45	1.95	0.43
VETA-REBECA (9)	892	21.33	0.00	0.62	4.34	0.51
VETA-CHABUCA (10)	624	14.92	0.00	0.59	4.98	0.58
VETA-NANCY (11)	203	4.86	0.05	0.47	3.94	0.55
TOTAL	4181	100.00	0.00	0.52	8.00	0.49

Tabla 8: Estadísticas básicas por conjunto de vetas.

## 7.6 Estimación de Leyes

Al realizar un análisis geoestadístico, para algunas de las vetas que cuentan con información razonable, se aprecia un valor alto de pepa (0.6% de la variabilidad total) y alcances dentro del plano de la veta similares 40 - 60 m. Se opta por un Variograma omnidireccional, ajustándose el efecto pepita y alcances similares a los valores previamente descritos:

$$C_0=0.6+ C_1=EXP(0.4) [ R_x=R_y=R_z=50]$$

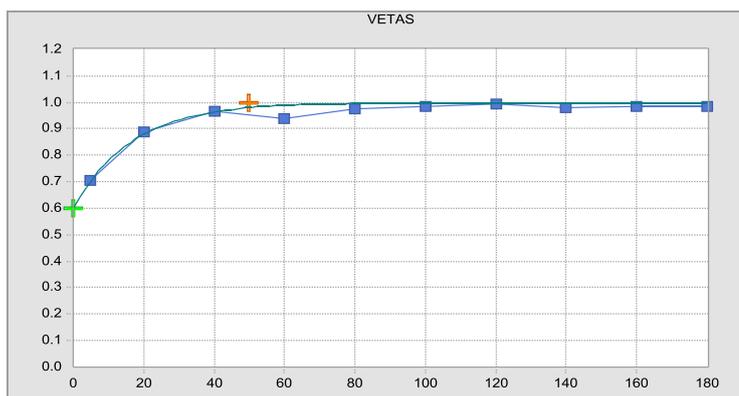


Figura 8: Variograma CuT.

Los radios de búsqueda y parámetros de estimación utilizados en una primera corrida son:

COD-VETA	SUBCOD-VETA	VETA	AZI	DIP	RX	RY	RZ	MIN-MUES	MAX-MUES	MAXMUES /SONDAJE
1	11	VETA-CECILIA-NORTE-NORTE	-25	10	4	120	50	3	8	2
1	12	VETA-CECILIA-NORTE	-10	7.5	4	90	50	3	8	2
1	13	VETA-CECILIA-CENTRO	7	5	4	90	50	3	8	2
1	14	VETA-CECILIA-SUR	15	10	4	90	50	3	8	2
2	2	VETA-CLAUDIA	0	37.5	4	90	50	3	8	2
3	3	VETA-FIORELLA	-35	15	4	90	50	3	8	2
4	4	VETA-MARCELA	-15	47	4	90	50	3	8	2
5	51	VETA-NICOLASA-W	-40	30	4	90	50	3	8	2
5	52	VETA-NICOLASA-CENTRO	-20	0	4	90	50	3	8	2
5	53	VETA-NICOLASA-NORTE	-12	0	4	90	50	3	8	2
5	54	VETA-NICOLASA-CENTRO-SUR	-8	14	4	90	50	3	8	2
5	55	VETA-NICOLASA-SUR	-8	14	4	90	50	3	8	2
5	56	VETA-NICOLASA-NORTE-NORTE	0	0	4	120	50	3	8	2
6	6	VETA-TERESITA	0	30	4	90	50	3	8	2
7	71	VETA-VILMA	0	10	4	90	50	3	8	2
7	72	VETA-VILMA	0	10	4	90	50	3	8	2
9	91	VETA-REBECA-NORTE	-15	30	4	120	50	3	8	2
9	92	VETA-REBECA-CENTRO-NORTE	-5	25	4	90	50	3	8	2
9	93	VETA-REBECA-CENTRO	5	25	4	90	50	3	8	2
9	94	VETA-REBECA-CENTRO-SUR	15	25	4	90	50	3	8	2
9	95	VETA-REBECA-SUR	15	25	4	90	50	3	8	2
9	96	VETA-REBECA-SUR-SUR	15	25	4	90	50	3	8	2
10	10	VETA-CHABUCA	0	30	4	120	50	3	8	2
11	111	VETA-NANCY	5	25	4	120	50	3	8	2

Tabla 9: Parámetros de búsqueda estimación de leyes de CuT por conjunto de vetas. (1° Corrida)

Esta primera corrida presenta los mismos radios, orientaciones y restricciones empleados en la generación de las vetas.

Estos bloques sin estimar son consecuencia del efecto de las restricciones de estimación (compósitos provenientes de al menos 2).

Con una segunda corrida, se interpolan los bloques que quedaron sin estimar en la corrida previa, encontrándose éstos muy cercanos o contienen algún compósito con información de leyes.

Los parámetros de estimación en esta segunda corrida tienen radios más pequeños, quedando los bloques confinados a distancias cercanas a muestras aisladas donde el muestreo es muy escaso. A continuación una tabla con los parámetros de estimación:

COD-VETA	SUBCOD-VETA	VETA	AZI	DIP	RX	RY	RZ	MIN-MUES	MAX-MUES	MAXMUES /SONDAJE
1	11	VETA-CECILIA-NORTE-NORTE	-25	10	4	45	25	2	5	2
1	12	VETA-CECILIA-NORTE	-10	7.5	4	45	25	2	5	2
1	13	VETA-CECILIA-CENTRO	7	5	4	45	25	2	5	2
1	14	VETA-CECILIA-SUR	15	10	4	45	25	2	5	2
2	2	VETA-CLAUDIA	0	37.5	4	45	25	2	4	2
3	3	VETA-FIORELLA	-35	15	4	45	25	2	4	2
4	4	VETA-MARCELA	-15	47	4	45	25	2	4	2
5	51	VETA-NICOLASA-W	-40	30	4	45	25	2	5	2
5	52	VETA-NICOLASA-CENTRO	-20	0	4	45	25	2	5	2
5	53	VETA-NICOLASA-NORTE	-12	0	4	45	25	2	5	2
5	54	VETA-NICOLASA-CENTRO-SUR	-8	14	4	45	25	2	5	2
5	55	VETA-NICOLASA-SUR	-8	14	4	45	25	2	5	2
5	56	VETA-NICOLASA-NORTE-NORTE	0	0	4	45	25	2	5	2
6	6	VETA-TERESITA	0	30	4	45	25	2	4	2
7	71	VETA-VILMA	0	10	4	45	25	2	4	2
7	72	VETA-VILMA	0	10	4	45	25	2	4	2
9	91	VETA-REBECA-NORTE	-15	30	4	45	25	2	4	2
9	92	VETA-REBECA-CENTRO-NORTE	-5	25	4	45	25	2	4	2
9	93	VETA-REBECA-CENTRO	5	25	4	45	25	2	5	2
9	94	VETA-REBECA-CENTRO-SUR	15	25	4	45	25	2	5	2
9	95	VETA-REBECA-SUR	15	25	4	45	25	2	5	2
9	96	VETA-REBECA-SUR-SUR	15	25	4	45	25	2	5	2
10	10	VETA-CHABUCA	0	30	4	45	25	2	4	2
11	111	VETA-NANCY	5	25	4	45	25	2	4	2

Tabla 10: Parámetros de búsqueda estimación de leyes de CuT por conjunto de vetas. (2° Corrida)

Las variables de salida son:

CUT: Ley estimada.

NSCUT: Compósitos que participan en la estimación de la variable CUT.

ELLCUT: Elipsoide de búsqueda con que se estimó la variable CUT.

MDISCUT: Distancia promedio (porcentual) de las muestras que participan en la estimación de la variable CUT.

VARCUT: Varianza de Kriging de la variable CUT.

Los resultados presentados a continuación corresponden a los bloques bajo la topografía, pero no se excluye el mineral extraído en los caserones ni las labores subterráneas como galerías.

Los resultados globales son:

VETA	BLOQUES IN-SITU		BLOQUES ESTIMADOS			CUT-%			
	[BLK'S]	[MT]	[BLK'S]	[MT]	[%]	[MIN]	[MEAN]	[MAX]	[STD]
VETA-CECILIA	33438	13.91	27034	11.25	80.8	0.10	0.52	2.00	0.24
VETA-CLAUDIA	16371	6.81	11335	4.72	69.2	0.15	0.49	2.00	0.23
VETA-FIORELLA	1887	0.78	1314	0.55	69.6	0.19	0.47	0.92	0.17
VETA-MARCELA	3388	1.41	1451	0.60	42.8	0.15	0.41	0.88	0.16
VETA-NICOLASA	28838	12.00	19459	8.09	67.5	0.05	0.49	1.86	0.25
VETA-TERESITA	10127	4.21	5357	2.23	52.9	0.09	0.42	1.24	0.16
VETA-VILMA	7330	3.05	6061	2.52	82.7	0.08	0.50	1.84	0.24
VETA-REBECA	28236	11.75	20122	8.37	71.3	0.06	0.67	2.00	0.31
VETA-CHABUCA	25338	10.54	17389	7.23	68.6	0.08	0.56	1.92	0.25
VETA-NANCY	11523	4.79	5553	2.31	48.2	0.09	0.44	1.46	0.21
TOTAL	166476	69.25	115075	47.87	69.1	0.05	0.53	2.00	0.25

Tabla 11: Cubicaciones globales por conjunto de vetas.

Se estimó aproximadamente el 70% de los bloques in-situ, con una media global de 0.53 %CuT.

En las siguientes tablas se muestran las curvas de Tonelaje - Ley por conjunto de veta:

LC-CuT%	VETA-CECILIA			VETA-CLAUDIA			VETA-FIORELLA			VETA-MARCELA			VETA-NICOLASA		
	[BLK'S]	[MT]	[CuT-%]	[BLK'S]	[MT]	[CuT-%]	[BLK'S]	[MT]	[CuT-%]	[BLK'S]	[MT]	[CuT-%]	[BLK'S]	[MT]	[CuT-%]
0.0	27034	11.25	0.516	11335	4.72	0.489	1314	0.55	0.474	1451	0.60	0.405	19459	8.09	0.494
0.1	27030	11.24	0.516	11335	4.72	0.489	1314	0.55	0.474	1451	0.60	0.405	19440	8.09	0.494
<b>0.2</b>	<b>26812</b>	<b>11.15</b>	<b>0.519</b>	<b>11196</b>	<b>4.66</b>	<b>0.493</b>	<b>1306</b>	<b>0.54</b>	<b>0.476</b>	<b>1415</b>	<b>0.59</b>	<b>0.411</b>	<b>19210</b>	<b>7.99</b>	<b>0.498</b>
0.3	23384	9.73	0.556	9380	3.90	0.536	1082	0.45	0.522	1122	0.47	0.449	15700	6.53	0.552
0.4	16645	6.92	0.638	5805	2.41	0.652	817	0.34	0.574	517	0.22	0.572	10844	4.51	0.643
0.5	10736	4.47	0.744	3953	1.64	0.747	514	0.21	0.650	323	0.13	0.665	6933	2.88	0.753
0.6	7174	2.98	0.842	2878	1.20	0.821	309	0.13	0.714	212	0.09	0.731	4935	2.05	0.837

Tabla 12: Tabla de Tonelaje - Ley por conjunto de vetas.

LC-CuT%	VETA-TERESITA			VETA-VILMA			VETA-REBECA			VETA-CHABUCA			VETA-NANCY		
	[BLK'S]	[MT]	[CuT-%]	[BLK'S]	[MT]	[CuT-%]	[BLK'S]	[MT]	[CuT-%]	[BLK'S]	[MT]	[CuT-%]	[BLK'S]	[MT]	[CuT-%]
0.0	5357	2.23	0.423	6061	2.52	0.502	20122	8.37	0.670	17389	7.23	0.560	5553	2.31	0.444
0.1	5356	2.23	0.423	6059	2.52	0.502	20106	8.36	0.671	17388	7.23	0.560	5550	2.31	0.444
<b>0.2</b>	<b>5256</b>	<b>2.19</b>	<b>0.428</b>	<b>6015</b>	<b>2.50</b>	<b>0.505</b>	<b>19998</b>	<b>8.32</b>	<b>0.673</b>	<b>17312</b>	<b>7.20</b>	<b>0.562</b>	<b>5418</b>	<b>2.25</b>	<b>0.451</b>
0.3	4149	1.73	0.472	5132	2.13	0.547	19118	7.95	0.692	16086	6.69	0.584	4396	1.83	0.496
0.4	2429	1.01	0.557	3626	1.51	0.629	15928	6.63	0.760	12336	5.13	0.655	2391	0.99	0.620
0.5	1429	0.59	0.637	2330	0.97	0.730	12960	5.39	0.831	8878	3.69	0.735	1532	0.64	0.720
0.6	611	0.25	0.758	1595	0.66	0.815	10257	4.27	0.905	5601	2.33	0.847	1002	0.42	0.806

Tabla 13: Tabla de Tonelaje - Ley por conjunto de vetas.

## 7.7 Geomecánica del Yacimiento

Compañía Minera Sierra Miranda solicito a esta oficina consultora, A. Karzulovic & Asoc. Ltda. (AKL), realizar una evaluación geotécnica respecto de la estabilidad de las labores subterráneas de los sectores productivos: Nicolasa y Yammal los cuales se encuentran actualmente en operación. Y entregar, conforme con los resultados de esta evaluación, las recomendaciones y/o conclusiones necesarias para la operación, con el propósito de asegurar que estas labores sean lo suficientemente estables y permitan un manejo operacional seguro en las mismas.

En el presente informe se describe el trabajo realizado, el cual consistió, en visitas de nuestros profesionales a la mina para realizar un levantamiento geotécnico, y evaluar la estabilidad de las labores, evaluando la seguridad al deslizamiento de superficies potenciales de falla.

El presente trabajo se apoya en los siguientes antecedentes y fuentes de información:

Para evaluar la condición de estabilidad de estos sectores se han realizado apeos geotécnicos para caracterizar el macizo rocoso en términos del Índice de Resistencia Geológica (GSI, Geological Strenght Index) y de mapeos estructurales de detalle.

#### **7.7.1 Nicolasa**

Estructuralmente en la rampa Nicolasa de orientación aproximada N 5° - 10° W, corre paralela a una estructura mayor de rasgos a nivel regional llamada Falla Nicolasa cuyo manteo es subvertical.



Figura 9: Portal Nicolasa Nivel 1250 con acuñadura y enmallado

Lo anterior es una condición geotécnica desfavorable lo cual se traduce en grandes zonas de cizalle, en donde la roca ha sido fuertemente tectonizada lo cual degrada y brechiza al macizo rocoso, ocasionando sectores con fuerte sobre

excavación en la rampa. Estas zonas en la mayoría de los casos una fuerte acuñadura y eventualmente de reforzamiento con perno o combinados con enmallado.

En cuanto a estructuras menores del tipo Joints, el sistema predominante al igual que en la rampa Mohamed, corresponde a planos de orientación N 40° - 50° W / 60° - 70° NE.

Estos planos se notan muy claramente en la caja Este de la rampa Nicolasa y eventualmente producen pequeños lajamientos en esa caja. Litológicamente se reconoce, en la rampa Nicolasa, un único tipo de roca el cual corresponde a un intrusivo de composición Granodiorítica, de color gris y textura fanerítica.

En general esta unidad, fuera de las zonas de cizalle se presenta fresca, sin alteraciones de tipo sericítico o argílico y presenta buena competencia a golpe de martillo (R estimado 3 a 4) excepto en aquellas zonas donde el macizo rocoso está brechizado por la Falla Nicolasa en donde su resistencia estimada es de R 2 a R 1 y presenta una marcada argilización.

Según el Índice de Resistencia Geológica para macizos rocosos fracturados (Marinos & Hoek, 2000), la estructura del macizo rocoso es Muy Blocosa, es decir el macizo presenta cuatro o más sets de estructuras que definen bloques angulosos y trabados pero que están parcialmente perturbados.

La condición de las discontinuidades varía de Mala a Muy Mala, es decir son estructuras pulidas, con sus cajas meteorizadas, con pátinas o con rellenos y/o fragmentos angulosos en la condición Mala, y son estructuras pulidas, cajas meteorizadas con pátinas o rellenos arcillosos en la condición Muy Mala.

La frecuencia de fracturas está en el rango predominante de 10 a 12 f/m.

### 7.7.2 Yammal

La rampa Yammal de orientación Este-Oeste y Este-Suroeste es intersectada por tres grandes estructuras aproximadamente subverticales: fallas Cecilia (N15-20W), Fiorella (N40-45W) y Ximena (N40-45W).



Figura 10: Portal Yammal Nivel 1210 con acuñadura

En cuanto a estructuras menores o Joints, los sistemas predominantes tienen orientación N15-20W / 65-75 NE y N15-20E / 65-75 NE.

Estos planos se notan claramente en ambas cajas de la rampa Yammal y, ocasionalmente producen lajamientos de poca magnitud (volumen) en las cajas. En algunos sectores.

En general la condición de las estructuras menores es sellada, sus paredes son algo rugosas y presentan pátinas de alteración.

Las rocas predominantes corresponden a intrusivos ígneos de composición Monzogranítica y Granodiorítica, en general poco alteradas (la alteración argílica está restringida a las zonas de fallas y su halo de influencia).

Sus rasgos texturales corresponden a rocas con texturas porfídicas a microfaneríticas de color gris las cuales presentan (en algunos sectores) una silicificación moderada a leve.

En general, estas rocas frescas o poco alteradas se muestran bastante competentes a golpe de martillo (según tabla estimada de competencia de materiales de Brown, modificada 1981) y su resistencia como roca intacta es del orden de R 4 (roca “dura” resistencia del orden de 50 a 100 MPa).

En zonas cercanas o bajo el halo de influencia de las falladas citadas anteriormente, esta resistencia de la roca intacta disminuye al rango R 3 (“roca moderadamente dura” resistencia del orden de 25 a 50 MPa).

Desde el punto de vista del índice geológico de resistencia (GSI por sus siglas en inglés) la estructura predominante del macizo rocoso en esta rampa es “Blocosa”, es decir sus bloques de roca son cúbicos y están bien trabados entre si y predominan tres sistemas estructurales.

La condición de las discontinuidades es “Buena”, es decir, sus cajas son rugosas, están ligeramente intemperizadas y algo oxidadas.

El puntaje asociado al parámetro GSI es del orden de 60 a 70 puntos, es decir se trata de un macizo rocoso de calidad geotécnica “Buena”.

Finalmente, la frecuencia de fracturas por metro lineal es del orden de 7 a 10 fracturas por metro.

## **7.8 Recomendaciones Generales**

Además de las recomendaciones ya entregadas para cada uno de los sectores revisados, las siguientes recomendaciones generales deben ser consideradas para todas las áreas de operaciones en la mina subterránea:

- El largo de los pernos a utilizar en los reforzamientos debe ser de a lo menos de 2.50 m.
- Se debe mantener un procedimiento de acuñadura permanente y periódico, que permita, con los equipos mecanizados adecuados (que alcancen los techos y frentes de trabajo), que las frentes de avances de disparos estén siempre acuñadas después de cada uno de ellos, para permitir una operación segura a equipos y personas.
- Cuando se realiza enmallado de techo con pernos en las crucetas, este reforzamiento debe cubrir a lo menos unos 3.0 m. más hacia el interior de las labores.
- Se debe evaluar con mayor precisión los sectores que requieren ser reforzados y/o fortificados posterior a cada acuñadura, esto se debe hacer en el más inmediato plazo antes que los sectores empiecen a deteriorarse paulatinamente y las labores se empiecen a “levantar” formando cavidades que pasan a ser inmanejables desde el punto de vista de la estabilidad de estas.
- Se mantiene la recomendación respecto a los sectores que no se encuentran en producción los cuales deben ser cerrados ya sea, permanentemente si estos ya finalizaron la operación o temporalmente si ellos están a la espera de alguna evaluación o rediseño.
- Se realizó una caracterización geotécnica en las principales rampas de acceso con énfasis en las zonas de riesgo geotécnico, evaluando los posibles sistemas de fortificación, verificando en terreno las distintas unidades litológicas y sus contactos. Esto se debe hacer para cada uno de los puntos que entraran en operación.
- En base a todo lo anterior, se confeccionaron planos base para las rampas Nicolasa y Yammal los cuales deben ser guías para las demás labores sin

perjuicio de ser optimizados en la medida que mejore la cantidad y calidad de la información geotécnica.

- Se debe mantener actualizada la información geotécnica en todas las labores en operación y adquirir la información en los sectores nuevos para optimizar los diseños, en un trabajo conjunto entre operaciones, planificación, geología, geotécnica y gerencia. Esto debería ser un trabajo de rutina para cada evaluación de diseños o cambios de métodos y/o secuencias de explotación.
- Se revisó el grado de alteración de las distintas unidades litológicas, recomendándose prestar atención a este parámetro sobre todo en aquellas áreas especialmente sensibles.
- En general las condiciones geotécnicas de las labores evaluadas, tanto para Nicolasa como para Yammal, presentan necesidades de mejoras geotécnicas desde el punto de vista de acuñadura y en la mayoría de las crucetas se recomienda el uso de malla y perno en el techo. Los pilares que se necesitan reforzar se recomiendan que sean con el mismo sistema de enmallado que el techo.
- Por procedimiento de trabajo todos los techos de la crucetas que intersecten o estén cercanos a fallas geológicas deben ser reforzados mediante mallas y pernos.

## **8 Métodos de Explotación (Subterráneo vs Rajo Abierto)**

Uno de los aspectos fundamentales en cualquier evaluación técnica y posteriormente económica, es tener claro que método de explotación se va a utilizar, por una parte el actual método de explotación de la mina Sierra Miranda es a través de un método subterráneo, denominado Sublevel Stopping, ampliamente utilizado en varias minas de Chile, es un método de explotación de caserones en los cuales se pueden recuperar un gran porcentaje de sus reservas

mineras y por otra parte también permite una explotación segura para sus trabajadores y empresa. Pero este debe competir claramente con el método de explotación más aplicada en la actualidad el cual es más seguro y con costos operacionales muy diferentes a la minería subterránea, este último tiene la desventaja que para poder recuperar los recursos mineros que están muy profundos se debe remover gran cantidad de material estéril, el cual no da ningún beneficio económico para la compañía minera. Por eso en este estudio es clave diferenciar si existe la posibilidad de explotar este cuerpo de minerales oxidados que puede presentar un tremendo aporte a la visión de Mantos Blancos de satisfacer la capacidad ociosa que tiene su actual planta de catados a través de su nave de electroobtención y posterior producción de catados de cobre con altos estándares de calidad.

Por lo tanto, se hace estudio paralelo de analizar primero desde el punto de vista técnico la factibilidad de ambos métodos de explotación, con las consideraciones que debe tener es estos estudios considerando el modelo de recursos geológico ya antes mencionado, con modelo estructural, estudios geotécnico con las consideraciones de la actual mina subterránea y una estimación de acuerdo a parámetros tales como calidad de la roca, estructuras, presencia de agua, etc, cuáles pueden ser los ángulos de taludes a definir en cuanto a talud global, interampa, altura de bancos, bermas de desacople, angula cara banco, etc.

De acuerdo a lo anteriormente expuesto se desarrolló estudio de explotación subterránea de la mina Sierra Miranda, analizando alternativas diferentes de ritmos de explotación, inversiones asociada con la finalidad de maximizar el valor del negocio global y poder recuperar el máximo cobre contenido en los recursos mineros de este yacimiento sobre todo en este escenario de precios altos del cobre y con una demanda mundial de cobre alta y en ascenso sobre todo por la alta tasa de crecimiento de China y de los otros países de Asia, con tasa de crecimiento del orden de 6% anual y en forma sostenible en el tiempo y por otro lado la poca oferta de cobre que tenemos en la actualidad, las minas esta a plena capacidad productiva y los grandes proyectos que se van a ejecutar no van a producir el cobre e forma tan instantánea como lo puede hacer en esta oportunidad de negocio Mantos de Blancos de Anglo American.

## **8.1 Estudio Alternativa Explotación Subterránea**

Este análisis de la alternativa de explotación de la mina Sierra Mirando se realiza en conjunto la Gerencia de Optimización de Activos y Estrategia Operacional y la empresa consultora GEMCOM.

Este trabajo se realizó por la empresa GEMCOM y la Gerencia de Optimización de Activos de Mantos Blancos. A continuación se presenta para este trabajo un resumen de este estudio de explotación de la mina Sierra Mirando por método subterráneo.

El objetivo de este estudio es describir la situación actual de las Operaciones y Planificación de la mina Sierra Miranda y con ello dar respuesta a una serie de interrogantes respecto del futuro de estas operaciones y desarrollar un análisis preliminar de factibilidad de ser explotada a cielo abierto o aumento de capacidad de producción si se continua explotando subterráneamente.

Para dar respuesta a estas interrogantes, se realizó una visita a la mina, con un tiempo total de 3 horas, haciendo un recorrido por parte de la mina, en su sector denominado Cecilia y algunas operaciones de explotación superficial.

El presente reporte ha sido preparado considerando dos aspectos básicos: Condiciones actuales y potencialidades del yacimiento considerando operaciones actuales.

### **8.1.1 Operación Minera Mina Sierra Miranda**

De acuerdo a lo observado en la visita a terreno y lo comentado en la entrevista con el superintendente de mina, a continuación se detallan los principales aspectos observados.

Condiciones actuales de operación, a continuación se comentan las condiciones actuales de operación de Mina Sierra Miranda, observadas durante la visita realizada.

**Infraestructura actual:** El objetivo fue constatar en terreno el tipo de infraestructura existente y calificar el estándar que estas tienen actualmente.

**Mina:** No cuenta con infraestructura básica, solo se ha mencionado que existe un refugio contraincendios, el cual no fue visitado. Portales de acceso a diferentes sectores de la mina no cuentan con fortificación que garanticen su estabilidad. Rampas de acceso no cuentan con estocadas de cruce para vehículos, así como tampoco con semáforos que permitan un tráfico seguro en un sentido. No existe un sistema de ventilación principal. Único ventilador existente en la mina está detenido.

**Planta Chancado y Beneficio, Talleres y Bodegas:** No fue visitada.

**Oficinas Generales:** Existen distintos tipos de infraestructura destinadas a Oficinas generales, desde edificios de hormigón, de madera con estructura de acero y container habilitados como oficinas.

**Caminos de acceso a Mina:** Camino de ripio, en regular estado, falta de mantención y señalética.

**Polvorines:** Solo divisados a lo lejos, contarían con una capacidad de acumulación de explosivos equivalente a una semana de consumo de la mina. No se indica capacidad.

**Energía Eléctrica:** Se señala que la energía eléctrica es generada por una planta que dispone la empresa.

**Abastecimiento Agua Potable y Agua Industrial:** Al interior de la mina no se cuenta con abastecimiento de agua potable ni agua industrial. El agua es

transportada al interior de la mina por camiones aljibes, los cuales se usan para regar los caminos y abatir el polvo.

**Servicios de comunicaciones y Red Informática:** Existe una red de radios, teléfonos. Durante la visita se informa que existiría una unidad de Informática, a cargo de administrar los sistemas computacionales que la empresa dispone.

**Comunicaciones al interior de la mina:** Existe una red de radios, con cable radiante instalado solo en rampas de acceso principal, pero no se aprecia en sector de rampa "Cecilia". Se desconoce si este sistema cuenta con la correspondiente autorización de la superintendencia respectiva.

**Método de Explotación:** El método de Explotación corresponde a Sublevel Stopping, con un ritmo actual de producción de 8.000 ton/día de mineral.

Las dimensiones de los caserones son de 30 m. (alto) \* 60 m. (corrida) \* Ancho según espesor de Veta. El ancho de la veta podría variar entre 1.5 m. hasta 7 m., con un promedio estimado de 4 m.

En la vertical, se explotan hasta 3 caserones. Para ello, en la base se deja un Crown Pillar de 10 m. de espesor. Entre sectores explotados, se deja un pilar costilla (Rib Pillar) de 15 m. de espesor.

La inclinación de los mantos varía entre 55° y 85°, lo cual permite la explotación por SLS. Existe una zona aislada de las otras, denominada Nicolasa Sur. Resto de zonas Cecilia, Chabuca, Claudia, Fiorella, Marcela, Teresita, Vilma, etc. hacen uso del sistema de rampas denominado Mohamed y otros construidos en cada veta para mantener rendimientos requeridos.

Mina Sierra Miranda cuenta con un sistema de manejo de materiales muy simple, solo se limita a cargar camiones de 33 ton de capacidad, marca Mercedes Benz, modelo Actross, que permiten circular eficientemente en las rampas de la mina, las que cuentan con una pendiente estimada entre 7% a 10%.

No realiza tareas de Ore Control, de manera que no es posible conocer el % de dilución que se obtiene por la aplicación del método Sublevel Stopping (SLS), pero por aplicaciones del método en yacimientos de similares características, esta no debería ser mayor a 4%.

**Diseño General Mina:** De los diseños generales de la mina, solo fue posible ver aquellos publicados en las paredes del área de Ingeniería. Se trata de un método de explotación por SLS, con acceso mediante rampas de 7% a 10%. Existe una distribución regular de pilares costilla y de croen pillar, por lo que cada caserón queda claramente definido. El sector de mayor concentración de actividad minera cubre un área de 2.500 m. x 1.000 m. El sector más profundo corresponde a la cota 1070, esto es 140 m. por debajo de la cota de acceso a rampa Mohamed. En algunos sectores se usa SLS solo con tiros ascendentes, ya que no se tiene acceso por el nivel superior. Solo en reducidos sectores se construye el nivel de transporte y nivel de perforación ascendente, los demás casos solo se construye el nivel de perforación desde donde se perfora y extrae el mineral.

**Dimensiones Caserón tipo:** El caserón tipo tiene dimensiones de 30 m. x 60 m. x Ancho de Veta. Considerando un ancho de veta de 4 m. y densidad de 2.5 ton/m<sup>3</sup>, entonces cada caserón debería proporcionar 18.000 ton. de mineral al que se le debe agregar la dilución correspondiente. No existe un estudio geomecánico que respalde el diseño actual del método de explotación por SLS, por lo que es necesario analizar si existe una alternativa de refinamiento en las dimensiones, lográndose caserones de mayores dimensiones.

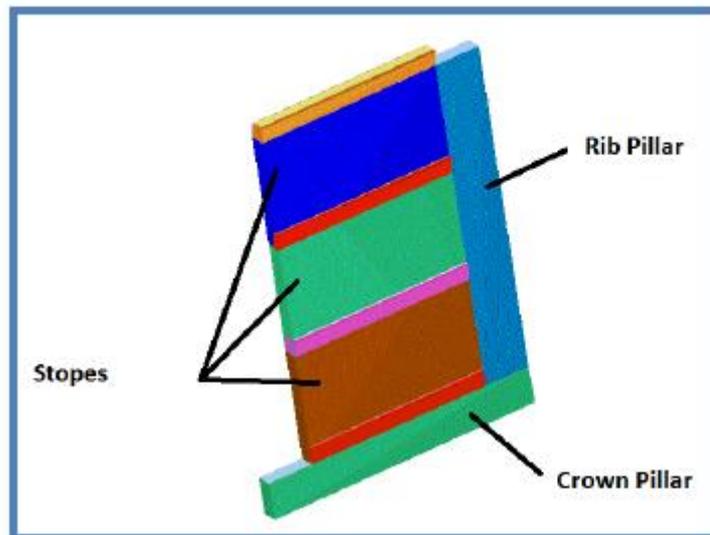


Figura 11: Esquema de Método SLS Sierra Miranda

**Dilución:** Sierra Miranda no mide la dilución obtenida de los caserones, pero sin embargo es posible estimar la sobre-excavación obtenida de la explotación toda vez que se mantiene un contrato de levantamiento de caserones con una empresa llamada Geoser.

**Apertura de Cara Libre:** En el sector ascendente (undercut) del caserón se construye una chimenea en forma manual, la cual se usa como cara libre para producir el desquinche correspondiente. En el sector de banqueo, se usa la técnica de Slot Raise mediante la técnica de VCR, con avances de 1m. a 1.5 m./disparo, avance considerado como promedio.

**Perforación SLS:** Cada caserón es perforado en forma radial ascendente en su base (Undercut), y radial descendente en la parte superior (o por banqueo - Uppercut).

El sector radial ascendente se perfora con equipo Raptor, con un Burden de 2.2 a 2.5 metros, diámetro 3". En general se disponen de 2 tiros paralelos, algunas veces un tercer tiro se perfora entre perfiles para mejorar la salida del disparo. La longitud de los tiros es de 10 a 15 metros, y con una inclinación del ring de 80° a 85° para evitar descenso del techo en la medida que se avanza en la tronadura del undercut. En el sector radial descendente se perfora con equipos ROC 460 o

SON 585, con un Burden de 2.7 m., donde se perforan de 2 a 3 tiros de 3.5", con longitudes de 15 a 20 m.

Se muestrean los cuttings de perforación, los que serían usados para estimar la ley del caserón. No se tiene a la vista el registro de leyes muestreadas.

**Tronadura SLS:** Cada parte del caserón es tronada por separado, siendo siempre la parte inferior la que se lleva por adelantado, pero solo un perfil. La parte superior, en ocasiones, es tronada por partes, lo cual resulta curioso ya que no existe una razón que justifique esta acción (selectividad?). En general, durante la entrevista se menciona que el factor de carga es de 180 grs/ton, considerado como promedio dentro de la explotación mediante SLS. Como carga de columna, se usa explosivo ANFO el que es iniciado por un APD.

**Recuperación Material tronado:** Recuperación de extracción de mineral desde caserones mediante el uso de cargador frontal es de 70%. El resto del material tronado es extraído desde el interior del caserón usando un Scoop 1020 equipado con control remoto, con Scoop a Control remoto extraería 2.375 ton/día, lo cual resulta excesivo para un equipo operado a control remoto!. Recuperación por cargador frontal debe ser superior a 70%, lo cual es muy alto considerando que no todo el material escurre por las estocadas de extracción.

**Cantidad Caserones requeridos por año:** Si la producción es de 8.000 ton/día, y el aporte de la preparación varía entre 30.000 ton/año hasta 60.000 ton/año, entonces la cantidad de caserones requeridos por año es de **158** unidades. Dado que cada caserón requiere al menos de 75 m. de túneles para ser preparado, entonces el nivel de preparación de la mina debería ser de 158 caserones \* 75 m. = 11.850 m./año considerando una configuración de construir solo Undercut. Por lo tanto, el plan de preparación debería ser de 990 m./mes. Aquí se produce una inconsistencia, ya que mina Sierra Miranda comenta que el plan de avance de túneles es de 1.000 m./mes considerando preparación y desarrollo, pero solo cuentan con una eficiencia de 60%, por lo que el avance solo alcanza a los 600 m./mes. La cifra anterior de preparación requerida justificaría el aumento de la flota de jumbos de 2 unidades a 5 unidades, ya que con la tasa actual de

explotación, la preparación y desarrollo de la mina son insuficientes para mantener un plan de explotación de 8.000 ton/día de mineral.

Actualmente Sierra Miranda mantiene 8 caserones abiertos por día, pero solo extrae de 5 de ellos por turno, por lo que es posible deducir que cada caserón aportaría del orden de 1.590 ton/día, capacidad nominal de cada sector de la mina. El método SLS se aplica en varios sectores, replicando el diseño, de modo que cada sector tiene una capacidad máxima de producción basado en sus caserones disponibles, secuencia de explotación, rampa de acceso, profundidad de extracción y ley de Cu, que muchas veces por efecto de mezcla, hace que la producción se incremente/reduzca.

**Avance de Túneles:** La mina ejecuta las tareas de perforación con dos jumbos de avance, los que en promedio le permiten hacer 3 disparos/día/jumbo, lo que es bajo, pero que se explica por el largo desplazamiento que deben realizar entre zonas para perforar los disparos de cada frente. En mineral, la sección típica de los túneles es de 4.2 m. x 4.8 m., perforados con 34 tiros, de los cuales solo 32 son cargados. El largo de la perforación depende del equipo usado. En roca estéril (rampas y túneles), la sección es de 5 m. x 5 m., perforados con 36 tiros, de los cuales solo 34 son cargados. El largo de la perforación depende del equipo usado. Se usa Smooth Blasting al techo, usando Softron como explosivo base, y un total de 7 tiros cargados con esta metodología, ya que 2 de ellos se han perforado a las cajas, a fin de dar mayor estabilidad al hombro del túnel. El largo de perforación del disparo es de 4.6 m., lográndose un avance medio de 4.1 m. si el equipo utilizado es el Atlas Copco, lo que representa 89%, lo que puede ser catalogado como un buen resultado. En caso de usar el equipo Sandvik, el largo del disparo es de 3.9 m., lográndose un avance medio de 3.6 m., por lo que representa un rendimiento medio de 92%. En la visita a la mina, se pudo apreciar que en general la forma del túnel es aparentemente más alto que lo indicado, siendo la razón base el uso de equipos de superficie en tareas de explotación subterránea, en especial si se usan cargadores Caterpillar del tipo 966, cuya altura al techo es de 3.6 m.

**Fortificación:** Mina Sierra Miranda cuenta con la asesoría de AKL Consultores, quienes han recomendado el uso de perno lechado y malla, en reemplazo de malla y split set. Solo un 2% de los túneles son fortificados, lo que indicaría que se trata de una roca de buena calidad geotécnica. La recomendación de AKL Consultores es que se fortifiquen las zonas de cruzados, debido a la luz que se da en dichos sectores podría representar un punto de posible inestabilidad. Para realizar el acuíñamiento, Sierra Miranda usa un Threewheeler marca Bell dotado de martillo picador, año de fabricación 2008, pero se comenta que presenta problemas en equipo de Aire Acondicionado y problemas de disponibilidad de repuestos. Este tipo de equipo corresponde a una adaptación a un carrier de uso forestal, al que se le ha instalado un martillo picador, pero que ha mostrado cierta eficiencia en minas de mediana envergadura. Sierra Miranda cuenta con una cuadrilla propia de fortificación, quienes usan perforadores tipo Jackleg para la instalación de pernos. Cuando no están ocupados en tareas de fortificación, desarrollan tareas de acuíñamiento de vías principales.

**Ventilación:** No se cuenta con un sistema de ventilación forzado, el único ventilador existente en la mina se encuentra fuera de operación. La ventilación es de tipo natural. No hay registros de aforos de ventilación. Solo Jefe de turno cuenta con instrumento para medir concentración de gases CO<sub>2</sub>. Se desconoce si existe un estudio que justifique el uso de ventilación natural.

**Operaciones Mina:** La mina trabaja en un sistema de 2 turnos, 7 x 7, y contaría con una dotación de 71 personas. Se tienen dos jefes de Operaciones Minas, que trabajan en la modalidad 7 x 7. De ellos dependen de los Jefe de Turno. El Área de Geología es independiente de las actividades de la mina, y estaría integrado por 6 geólogos, 4 de ellos trabajan en terreno, modalidad de turno (1 por turno). Se cuentan con 2 cuadrillas de topógrafos por turno. Una empresa externa realiza los levantamientos topográficos de los caserones (CMS).

Los servicios de carguío y transporte son realizados por un contrato con terceros (aunque son del mismo dueño), cuya nombre es Nazca, quienes proporcionan los equipos y sus operadores.

**Organización Planificación:** En general, de la visita se pudo apreciar que la organización de Planificación de Sierra Miranda se caracteriza tener una edad media de 30 años, experiencia no superior a 5 años, y donde se experimenta una alta rotación de profesionales. El área tiene dependencia del Superintendente de Mina, con un equipo de Planificación que estaría integrado por 3 personas + 1 geotécnico.

**Aspectos Geológicos y Estructurales:** El yacimiento consiste en una mineralización de tipo veta (8 en total), de manto 55° a 85° al Este, espesor variable entre 3 a 7 m., pero siendo 4 m. una media para el yacimiento. Los sectores de mayor potencia serían: Cecilia (5 m.), Claudia (4 m.) y Chabuca (hasta 7 m.). Las demás vetas tienen espesores menores, que fluctúan entre los 2 a 3.5 m. En el sector existen fallas, siendo la principal la Falla Atacama y Sierra Valenzuela, pero también otras series de fallas que dan origen a las distintas zonas mineralizadas. En la visita al interior de la mina se pudo apreciar una de las fallas, dispuesta paralela al eje del túnel, la cual mostraba la presencia de poca salbanda. En general, el yacimiento ha sido reconocido por distintas campañas de sondajes, pero Sierra Miranda realiza sondajes de tipo RC y no diamantino, lo que podría representar una mayor variabilidad al momento de la estimación de leyes por el sesgo introducido. En cuanto a las reservas, durante la entrevista se mencionó que el yacimiento contaba con reservas para 5 años, lo que a una tasa de extracción de 8.000 ton/día, se estima que sea del orden de 15 millones de toneladas, de 0.52% de CuS. Pero por otra parte, también se mencionó que el yacimiento tendría recursos del orden de 100 millones de toneladas, algunas de ellos estarían siendo exploradas, en especial en el sector de Nicolasa Sur. Ante la pregunta de la presencia de otro tipo de mineralización, se menciona que en algunos sectores de la mina se ha detectado la presencia de sulfuros, cuyo volumen hoy es insignificante. Sierra Miranda no cuenta con un modelo de bloques del yacimiento, siendo una incógnita la manera en que se estiman los recursos en términos de cantidad y calidad. Este aspecto es clave y es preciso profundizar en las siguientes etapas del estudio. Es posible traspasar la información que Sierra Miranda a un software GMP, lo que generalmente toma algo de tiempo debido a la forma en que se trabajaría actualmente. Anglo

American dispone de una serie de sólidos que representan la distribución espacial de caserones y labores respecto de una topografía superficial de Sierra Miranda.

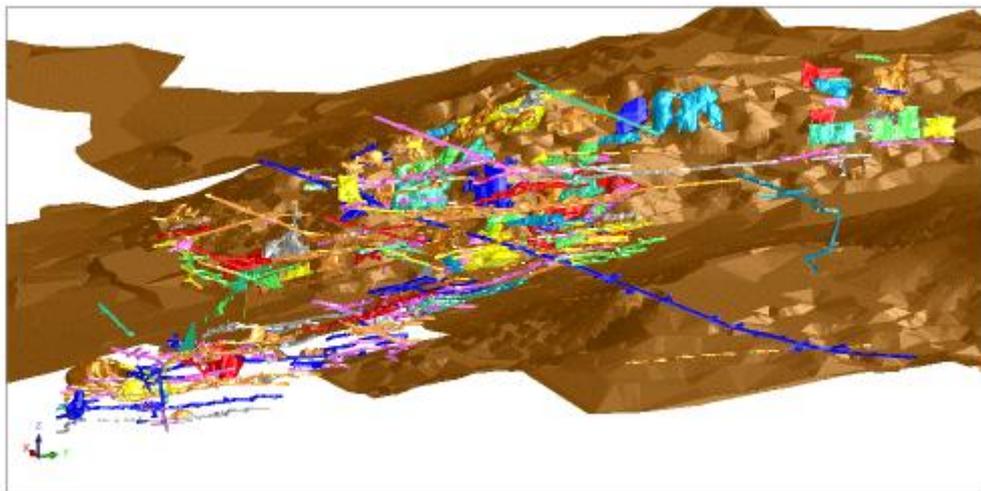


Figura 12: Vista General de Caserones y Labores Sierra Miranda. Al centro (Azul) rampa Mohamed

### 8.1.2 Operación Futura a estudiar

Tal como se mencionó previamente, se requieren de algunos antecedentes más sólidos para poder analizar la factibilidad de que Sierra Miranda pueda mantener o aumentar su capacidad de producción. Estos antecedentes dicen relación con:

- Modelo geológico (sólidos de vetas, fallas y modelo de bloques estimado).
- Levantamiento actual de la mina (labores y caserones).
- Estudio geomecánico sobre dimensiones de caserones y análisis de secuencia extractiva.
- Sistema de manejo de materiales.

Anglo American ha aportado más antecedentes, lo que permite un mejor análisis del potencial de este yacimiento mas allá de los datos levantados durante la visita a terreno, pero solo a nivel de ingeniería de perfil, basado en factores tecnológicos y rendimientos medios observados en otras operaciones de similares características.

**Estimación de Costos de Explotación:** Para efecto de estimar los posibles costos de explotación de Mina Sierra Miranda, considerando un estándar superior de equipamiento y seguridad, se harán uso de factores tecnológicos y datos medios estimados para esta mina. Los modelos suponen un cierto nivel de confianza, aceptable para este nivel de estudio del proyecto. Los modelos de costeo a aplicar en este caso, corresponden a la explotación de vetas angostas mediante el método Sublevel Stopping.

**Costos de Desarrollo y Preparación:** El costo de desarrollo y preparación de la mina, considerando una sección de 5 m. x 5 m., una fortificación del 5% de los túneles, largo de perforación de 4.2 m., eficiencia de avance de 92%, 38 tiros totales, 2 escariados a 102 mm, debería ser del orden de US\$ 950 /ma., valor que no considera el retiro de la marina. El costo medio del transporte de marinas hacia el exterior de la mina debería ser función del tipo de equipamiento usado, las distancias recorridas y el sistema de manejo de materiales usado (LHD-Camión minero, Cargador frontal-Camión off road, buzones). Para este caso preliminar se hará el supuesto que la cota de desarrollo será de 1070 m.s.n.m, que corresponde a la menor cota de la rampa Mohamed, mientras que la del portal es de 1210 m.s.n.m, por lo que la diferencia de cota será de 140 m. Considerando una pendiente de 10%, la distancia a recorrer será de 1.400 m.. Por otra parte, se considerara que las vetas tienen una extensión media de 730 m., por lo que la distancia media de transporte seria de 182 m. con una pendiente de 1%, suponiendo un acceso a la veta en el punto medio.

Toneladas por Nivel		
Largo Caseron	60	mts
Ancho Pilar	15	mts
Altura caseron	30	mts
Largo medio veta	733	mts
Potencia Media	4	mts
SG	2.5	tons/m3
Tonelaje Total nivel	219,793	tons
Numero de caserones	10	unidades
Tons desarrolladas x nivel	180,000	tons

Desarrollo requerido	350	mts
Factor de desarrollo	514	Tons/Mdes

Costo Desarrollo	1027	US\$/MA
Costo Desarrollo	359450	US\$
Costo Desarrollo	2.00	US\$/Ton Extraida

Tabla 14: Costos de Desarrollo

**Costo Preparación:** El costo de preparación de un caserón de 30 m. x 4 m. x 60 m. debería fluctuar entre 5.2 US\$/ton y 11.6 US\$/ton extraída en el caso de una configuración con túnel de transporte y estocadas de extracción. Este primer análisis supone que el dato preliminar entregado por Sierra Miranda de 7.2 US\$/ton debería considerar una configuración que solo cuenta con Undercut o se encuentra a una cota media superior a la supuesta en este análisis, pero una primera apreciación nos hace concluir que el costo horario del equipo usado es significativamente inferior al considerado en este modelamiento.

Factores Preparación Sierra Miranda		
Método Explotación	SLS	FECHA
		Enero - 2011
<b>Dimensiones Caseron</b>		
Alto Caserón	30	mts
Ancho Caserón	4	mts
Angulo Batea		
Ancho Tunnel Undercut	5	mts
Alto Tunnel Undercut	5	mts
Ancho Tunnel Transporte	5	mts
Alto Tunnel Transporte	5	mts
Largo Caserón	60	mts
Dens roca	2.5	tons/m3
Volumen Caserón	7,200	m3
Toneladas Caserón	18,000	tons
Costo Preparación	1,030	US\$/mt
Ancho Pilar entre cámaras	15	mts
<b>Largo Tunnel Zanja Caserón</b>		
Largo Tunnel Transporte	75	mts
Ancho Pilar	20	mts
Distancia entre Estocadas	25	mts
Número Estocadas	3	unidades
Angulo Estocada	70	°
Largo Estocada	12.8	mts
<b>Opción 1 con Transporte</b>		
Caserones	1	unidades
Toneladas	18,000	tons
Metros Undercut	90	mts
Metros Transporte	75	mts
Metros Estocadas	38.31	mts
Total Preparación	203	mts
Factor Preparación	89	Tons/Mts Prep.
Costo Preparación	11.63	US\$/tons
<b>Opción 2 Sin Transporte</b>		
Caserones	1	unidades
Toneladas	18,000	tons
Metros Undercut	90	mts
Metros Transporte		mts
Metros Estocadas		mts
Total Preparación	90	mts
Factor Preparación	200	Tons/Mts Prep.
Costo Preparación	5.15	US\$/tone

Tabla 15: Costos de Preparación

**Costo de Perforación y Tronadura:** Este proceso productivo dice relación con la perforación y tronadura de los caserones del método SLS. Usaremos factores tecnológicos nuevamente para estimar el costo de esta fase operativa. Un factor relevante en el manejo de la dilución obtenida en la aplicación del método SLS aplicado a vetas angostas es la calidad de la perforación y tronadura. En una operación de similares características de Sierra Miranda, donde se perforaban de 2 a 3 tiros por perfil, se obtenía casi un 50% de dilución debido a que se inducía la caída de la roca pendiente de la veta por mal control de perforación y exceso de carga de explosivos. Para esta estimación se ha considerado una perforación ascendente y descendente para el Undercut y Uppercut respectivamente, desarrolladas con un equipo de perforación hidráulico, 3" de diámetro.

**Costo de Extracción:** Para este caso consideraremos que el rendimiento medio de camiones será de 65 tons/hora, por lo que el costo medio de transporte debería ser muy similar al del transporte del desarrollo de túneles, estimándose en 1.50 US\$/ton.

**Otros Costos:** Dado que esta mina no dispone de sistema de ventilación ni de bombeo, cualquier operación futura debería considerar el uso de ventilación forzada, de manera que se garantice una operación según lo estipula el reglamento de seguridad minera en lo referido a la concentración de gases al momento del retiro de las marinas. No teniendo referencias con otras minas de tamaño similar, se estimara un costo de 0.5 US\$/ton por efecto de servicios auxiliares.

**Costo Estimado de Explotación:** Dado que existen dos configuraciones de preparación del método SLS, el costo medio estimado se presentara por separado. Dado que se desea mantener un ritmo de producción de 8.000 tons/día o superior, entonces la configuración más adecuada de preparación del método SLS sería la de construir solo Undercut en los extremos de la veta, y mantener el túnel de transporte y Undercut para el resto. La longitud media de cada veta, según los datos entregados, se estima que sea de 730 m., por lo que 610 m. deberán tener el esquema túnel de transporte, estocadas de extracción y

Undercut, lo que representa un 83% del total. Por lo tanto, el costo medio estimado sería de **16.2 US\$/ton extraída** para esta mina.

Costos Estimados	Solo UC	UC+ Ttpe
Costo desarrollo	\$ 2.00	\$ 2.00
Costo Preparacion	\$ 5.15	\$ 11.63
Costo Perforacion y tronadura	\$ 1.63	\$ 1.63
Costo transporte	\$ 1.50	\$ 1.50
Costo servicios	\$ 0.50	\$ 0.50
<b>Total costos US\$/ton extraida</b>	<b>\$ 10.78</b>	<b>\$ 17.26</b>

Tabla 16: Resumen de Costos Operación US\$/ton extraída

**Flota de equipos requeridos, Flota Transporte:** Para lograr una extracción diaria de 8.000 ton/día, y considerando un rendimiento medio de 65 ton/hora para él sistema Scoop-Camión minero, entonces considerando las horas de operación requerida es necesario contar con una flota de 9 camiones/disponibles por turno. Actualmente Mina Sierra Miranda cuenta con una flota de 12 camiones, suficiente para cubrir la demanda de camiones requeridos por la operación.

**Jumbos de Avance:** La flota de jumbos que una operación minera subterránea de este nivel de producción debería ser del orden de 5 unidades, considerando una extracción por medio de Undercut, mientras que al usar Undercut + Túnel de transporte, la flota debería ser el doble, esto es 10 unidades, siempre y cuando no se logre mejorar el numero de disparos por día que cada jumbo es capaz de realizar.

**Aumento de ritmo de producción:** Ante la interrogante si es posible aumentar la capacidad de producción de la mina, considerando la actual configuración de la mina, preliminarmente se estima que podría aumentarse la capacidad siempre y cuando sea posible replicar el método en otros sectores, pero también, disponiendo de un mejor sistema de manejo de materiales (Scoop - Buzón - Camión). Preliminarmente, la factibilidad de aumentar el ritmo de producción de Mina Sierra Miranda sería factible en la medida que se dispongan de vetas, que constituyan unidades aisladas, que en un numero de 8 niveles de producción

permiten mantener un ritmo de 12.000 ton/día, pero que necesariamente debe ser ratificado con un análisis de secuenciamiento de explotación y desarrollo de mina.

**Dotación:** La dotación será función del ritmo de explotación que tenga la mina, así como el sistema adoptado para prepararla, sin embargo, una estimación preliminar indicaría que la dotación de una operación de este nivel debería ser de orden de 320 personas.

**Inversiones requeridas (CAPEX):** En términos de estimación de Capex que esta mina requeriría para mantener/aumentar su capacidad de producción, este ha sido estimado preliminarmente en base a los siguientes supuestos: Se ha mejorado la utilización de los jumbos, los cuales son capaces de perforar al menos 5 disparos/día por unidad disponible. Actualmente, el número de disparos que cada jumbo realiza diariamente es de 3. Incremento de flota de jumbos para mantener capacidad productiva es de 5 unidades, y de 8 unidades para aumentar la capacidad extractiva a 12.000 ton/día. Reemplazo de la flota actual de camiones por camiones del tipo ADT-30, en un total de 12 unidades para mantener producción actual o de 16 unidades en caso de aumento de ritmo de producción. Incremento de flota de Scoop, los que deben estar dotados de unidades de control remoto para una mayor recuperación del mineral tronado desde el interior de los caserones. Actualmente se cuenta con una sola unidad de Scoop operado por control remoto, insuficiente para recuperar el mineral tronado remanente al interior de los caserones.

Capex	US\$*000	Mantener Prod		Aumentar Prod	
		Unidades	US\$x000	Unidades	US\$x000
Camiones A30D	420	12	\$ 5,040	16	\$ 6,720
Jumbos M2C	820	5	\$ 4,100	8	\$ 6,560
Scoop CR	700	5	\$ 3,500	8	\$ 5,600
Ventiladores Desarrollo	30	17	\$ 510	26	\$ 780
Mantencion caminos	500	1	\$ 500	1	\$ 500
Ventilador ppal	400	1	\$ 400	1	\$ 400
Perforación producción	900	2	\$ 1,800	2	\$ 1,800
Infraestructura Mina	1000	1	\$ 1,000	1	\$ 1,000
Acuñadores	400	2	\$ 800	2	\$ 800
Camion Lubricador/servicio	100	3	\$ 300	3	\$ 300
<b>Total</b>			<b>\$ 17,950</b>		<b>\$ 24,460</b>

Tabla 17: Cuadro de Inversiones Iniciales Sierra Miranda en MUS\$

### 8.1.3 Conclusiones y Recomendaciones

#### 8.1.3.1 Conclusiones

- El análisis realizado nos indicaría que la mina Sierra Miranda es una operación minera subterránea que requiere de un cambio tecnológico en el equipamiento utilizado para la extracción de mineral para ser considerada una faena que dé garantía de operación, bajo estándares de seguridad superiores a los que se observan actualmente. Debemos incorporar un inversión fuerte en este aspecto para poder situar va la mina en el estándar que posee Anglo American, con la única finalidad de lograr el “Cero Daño” y en forma sustentable. Si dejar de mencionar lo importe que es todo lo referente a la sustentabilidad y la responsabilidad social empresarial, tema ampliamente difundido y trabajado en Anglo American.
- El costo estimado de producción fluctuaría entre US\$ 10.8 y 17.3 US\$/ton extraída, costo que depende del tipo de preparación que se haga en la veta, no obstante para lograr una mayor flexibilidad operativa que permita aumentar la producción de la mina se estima que el costo más probable sea de **16.2 US\$/ton extraída**.
- El CAPEX requerido variaría entre **17.950 y 24.460 KUS\$**, correspondiendo a las opciones mantener ritmo (8.000 ton/día) y aumentar ritmo respectivamente (12.000 ton/día).
- La actual operación requeriría de un incremento en la flota de jumbos de avance, dado que el avance requerido por el plan no se cumple, lo que pone en duda que sea posible producir las 8.000 ton/día, o que en realidad la potencia media del yacimiento es mayor a 4 m. en promedio.
- Es necesario que Sierra Miranda incremente el número de disparos diarios por cada jumbo, caso contrario la flota de 5 unidades le resultara insuficiente.

- Habilitar caserones explotados para el vaciado de material estéril, lo que representa un menor costo de transporte y menor impacto ambiental en superficie.

### **8.1.3.2 Recomendaciones**

- En una siguiente fase de evaluación se recomienda analizar un secuenciamiento de desarrollo/preparación junto con la explotación de caserones.
- Conceptualizar un sistema de manejo de materiales (LHD-buzón-Camión?)
- Analizar el costo de estandarizar las obras mineras de la actual mina para servir a la operación futura (cruces en rampas, estocadas de refugio, sistemas de comunicación, sistema de ventilación, etc)
- Determinar la cantidad mínima de sectores en explotación para mantener plan de producción.

## **8.2 Estudio Alternativa Explotación Rajo Abierto**

Este análisis de la alternativa de explotación de la mina Sierra Mirando se realiza en conjunto la Gerencia de Optimización de Activos y Estrategia Operacional y la empresa consultora Metálica.

### **8.2.1 Resumen del trabajo**

El presente estudio fue preparado entre la empresa Metálica Consultores y la Gerencia Optimización de Activos & Estrategia Operacional, División Mantos Blancos de Anglo American Chile, con el fin de generar los primeros antecedentes del proyecto minero por rajo de Sociedad Contractual Minera Sierra Miranda, la

cual se encuentra ubicada a 50 km al Noreste de la ciudad de Antofagasta, a 25 Km al Noroeste de la empresa Minera Mantos Blancos.

Este depósito está constituido por sistemas de vetas con dirección Norte-Sur y con presencia mineralógica de crisocola, atacamita y malaquita. El método de explotación utilizado para su desarrollo es Sublevel Stopping, por lo que la mina tiene una importante cantidad de labores y caserones, los que fueron reconstruidos para este estudio y considerados en los análisis el recurso geológico remanente.

Para el estudio de Pit final se han utilizado los siguientes parámetros:

Datos Whittle Sierra Miranda		
Ítem	Valor	unidad
<b>Costo Mina</b>		
Costo Mina (s/transp.)	1.01	US\$/t
Costo Transporte *	0.175	US\$/ t-km
<b>Costo Planta</b>		
Chancado y Lixiviación	4.74	US\$/t mineral
<b>Costo Venta</b>		
Costo Variable	14.9	US\$/lb Cu Fino
Comercialización	3.7	US\$/lb Cu Fino
G&A	3.3	US\$/lb Cu Fino
Impulsión	3.5	US\$/lb Cu Fino
Costo Venta Total (Selling Cost)	25.4	US\$/lb Cu Fino
<b>Precio Cu Fino Largo Plazo</b>	<b>2.1</b>	<b>US\$/lb Cu Fino</b>

Tabla 18: Datos Whittle Proyecto Sierra Miranda

La recuperación metalúrgica es de 75% y las condiciones para los planes:

#### **Costo Mina**

- Costo Mina (s/transp.) 1.01 US\$/t
- Costo Transporte \* 0.175 US\$/ t-km

#### **Costo Planta**

- Chancado y Lixiviación 4.74 US\$/t mineral

#### **Costo Venta**

- Costo Variable 14.9 US\$/lb Cu Fino
- Comercialización 3.7 US\$/lb Cu Fino
- G&A 3.3 US\$/lb Cu Fino
- Impulsión 3.5 US\$/lb Cu Fino
- Costo Venta Total (Selling Cost) 25.4 US\$/lb Cu Fino

### **Precio Cu Fino Largo Plazo 2.1 US\$/lb Cu Fino**

#### **Estudio de reservas extraíbles:**

- Capacidad Máxima de Movimiento Mina: 100, 50 y 25 ktpd.
- Capacidad Máxima de Producción de Cátodos de 20.000 ktpa
- Sin restricción de bancos por año en cada fase
- Sin limitación de desfase de bancos entre fases distintas.

De estos últimos parámetros el aportado por el cliente es la capacidad máxima de producción de cátodos, la cual corresponde a la capacidad remanente del proceso SX de Mantos Blancos. El movimiento mina corresponde a una sensibilización explorada y propuesta por Metálica Consultores.

Con estos análisis se puede concluir que a un precio del cobre de largo plazo de 2.1 US\$/lb y bajo las orientaciones comerciales descritas, las reservas extraíbles de Sierra Miranda corresponden a 12.3 Mt a una ley media de 0.47 %CuS, con una razón lastre mineral de 4.3. El mejor plan minero, confeccionado con el algoritmo de Milawa Balanceado se encuentra dado por un ritmo de producción mina de 100 ktpd de movimiento mina total y una capacidad máxima de producción de cátodos de 20.000 toneladas de cobre fino año, comprendiendo una vida productiva de 3 años.

A continuación se adjunta un resumen del resultado para los casos analizados

El nivel de este estudio es de Scoping Study, es decir es un estudio de ingeniería preliminar o de alcance, cuyo objetivo es poner a disposición los primeros antecedentes minero-económicos de un proyecto, al cual se le debieran realizar

más estudios tanto en el campo geológico, como minero y de procesos para obtener resultados más exactos.

### **8.2.2 Introducción**

De acuerdo a lo análisis realizados en conjunto con Mantos Blancos se considera el análisis de reservas extraíbles de los recursos geológicos del sector Sierra Miranda. El nivel de este estudio es de Scoping Study (estudios de ingeniería preliminares o de alcance).

Se realizó mediante la optimización de reservas a través del software Whittle Four X (WFX), el cual aplica el algoritmo de Lersch & Grossman para la valoración de los recursos y la secuencia de excavación, para obtener el mejor resultado económico de la explotación del yacimiento.

En una siguiente etapa, se realizó un análisis marginal de expansiones para la determinación del alcance máximo de la explotación (pit final), basándose en los pits teóricos de WFX, utilizando el algoritmo Milawa Balanceado para la elaboración de planes mineros.

### **8.2.3 Geología**

Sierra Miranda está constituida por sistemas de vetas con dirección preponderante Norte-Sur, controlada por estructuras. La falla de Atacama, la cual está relacionada con los depósitos más grandes de cobre porfídico de Chile, está dentro de las pertenencias de Sierra Miranda. En cuanto al contenido mineralógico, se observa principalmente crisocola, atacamita y malaquita.

### **8.2.4 Actual Método de Explotación y Proceso**

El método de explotación utilizado es el Sublevel Stoping. Este método consiste en desarrollar socavones de 5 x 5 m que siguen la mineralización de las vetas principales y secundarias. Para soportar los caserones (espacios abiertos) que se originan en la explotación, se dejan pilares de 15 m de ancho para la estabilidad

de las labores. La unidad de explotación corresponde a bloques de mineral de dimensiones aproximadas de 50 m de largo x 35 m de alto x 4 m de ancho. Cuando en la dirección vertical, la columna mineralizada se extiende más allá de los límites mencionados se fija una altura máxima de explotación de 120 m. Alcanzado ese límite, se deja un crown pillar de 15 metros para luego generar otros bloques en niveles inferiores. Con este método la recuperación de reservas es del orden del 77%. El ritmo de producción de la mina previsto para el año 2008 que incluye la producción con personal propio y aporte de contratistas es del orden de 3 millones de toneladas de mineral al año, cifra similar a la que se verificó para el 2007.

El mineral es recolectado en galerías y estocadas de recepción de mineral por medio de cargadores de bajo perfil LHD y transportado por camiones de 25 ton hasta las estaciones de chancado, que se encuentra a una distancia media de la bocamina de 1.500 a 2.500 m.

Sierra Miranda produce soluciones enriquecidas en cobre (PLS) y cátodos de cobre electrobtendidos a partir del procesamiento hidrometalúrgico de minerales oxidados.

Las etapas del proceso de obtención del cobre por la vía hidrometalúrgica son: chancado y aglomeración, lixiviación, extracción por solvente y electrobtención (LIX-SX-EW).

### **8.2.5 Metodología**

El software de planificación estratégica Whittle 4X permite obtener y analizar la extensión de la explotación para una serie creciente de precios del producto. La información de entrada para el software es la siguiente: modelo de recursos (topografía inicial y modelo de bloques), modelo geotécnico (ángulos de talud global), modelo físico (procesos, recuperación metalúrgica, consumo de ácido, etc.), y modelo económico basado en proyecciones de precio de los productos y estimaciones de costos de los procesos.

Mediante la aplicación del software se obtienen diferentes alcances de la explotación (pits o envolventes) asociados a los precios del producto, con información de los tonelajes y leyes de los materiales contenidos e indicadores referenciales del valor económico de cada alcance. Los pits o envolventes intermedias obtenidas con el software son utilizados como indicadores para establecer la secuencia de minado o, en otras palabras, la estrategia de consumo de los recursos contenidos al interior del pit final.

Con estos pits intermedios se determinarán las fases (pushbacks) para la elaboración de planes mineros. Cabe señalar que estas fases son representativas de un volumen de producción y no están operativizadas. Luego, mediante ciertos criterios de explotación (desfase entre fases, bancos máximos por año en cada fase, etc.) se elaborarán los planes mineros tomando como pit final cada uno de los pits resultantes de la optimización de WFX, mediante el algoritmo Milawa Balanceado. Además, para efectos comparativos el software realiza planes con estrategias de consumo de reservas: fase a fase (Best Case) y banco a banco (Worst Case)

Finalmente, la definición del pit final a un precio determinado, será aquel con el mejor Valor Presente de los planes Milawa Balanceado.

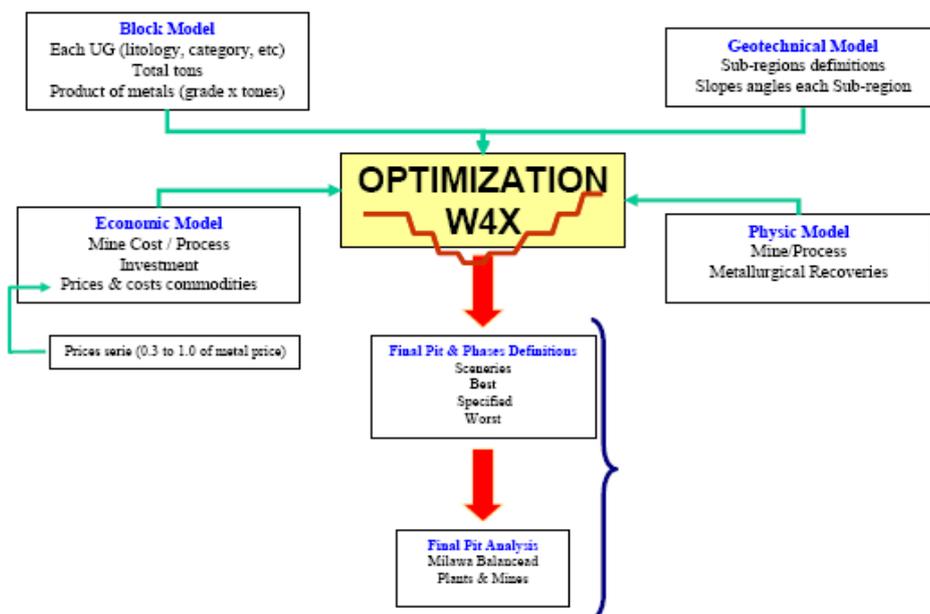


Figura 13: Optimización Whittle 4X

En la Figura 13 se describe el procedimiento de análisis mediante el software Whittle 4X.

### 8.2.6 Información de entrada al diseño de pit final

**Modelo de Recursos:** Este es el mismo modelo que el utilizado para la estimación de los recursos geológicos a través de una explotación subterránea.

**Variables contenidas:** El modelo de bloques sólo posee información referente a las leyes de Cobre Total y Cobre Soluble y no posee información de categorías, ni litologías, ni unidades de mineralización en cada bloque.

**Topografía:** Se utilizó la Topografía modificada por Metálica, tal como se muestra en la Figura 14. Esta topografía será la utilizada para los efectos de optimización.

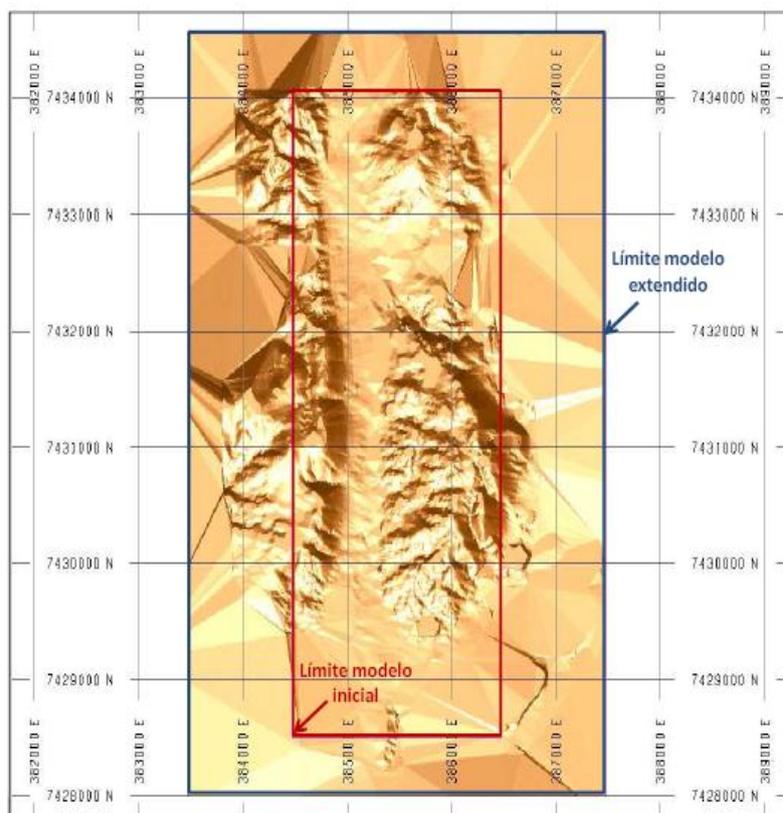


Figura 14: Topografía del sector Proyecto Sierra Miranda

**Cubicación Modelo:** La Tabla 19 muestra la Curva Tonelaje - Ley del Modelo de Recursos para el Cobre Total (CuT %) y el Cobre Soluble (%CuS), considerando la topografía señalada y descontando el volumen de caserones y laboreos antiguos.

Ley de Corte %CuT	Tonelaje kt	Ley Media CuT %CuT	Ley Media CuS %CuS
0.00	36,601,249	0.00	0.00
0.10	46,651	0.53	0.42
0.20	46,202	0.53	0.43
0.30	40,294	0.57	0.46
0.40	28,693	0.66	0.53
0.50	19,822	0.76	0.61
0.60	13,757	0.85	0.68
0.70	9,514	0.94	0.75
0.80	6,409	1.04	0.83
0.90	4,236	1.13	0.91
1.00	2,754	1.24	0.99
1.10	1,794	1.34	1.07
1.20	1,172	1.44	1.15

Tabla 19: Curva Tonelaje-Ley (Descuenta Caserones y Laboreos)

**Modelo Geotécnico:** Se ha determinado un ángulo de talud global de 45° para todo el sector de Sierra Miranda.

**Modelo de Procesos y Costos:** El esquema de procesos y los parámetros económicos de mina y planta para Sierra Miranda, consisten en los siguientes aspectos:

- Minería Rajo Abierto con bancos de 4 m. de altura.
- Procesamiento de minerales mediante Lixiviación en Pila y SX-EW
- Recuperación Metalúrgica del Cobre de 75% del Cobre Soluble.
- Costos y Precios señalados por las Orientaciones Comerciales indicadas.

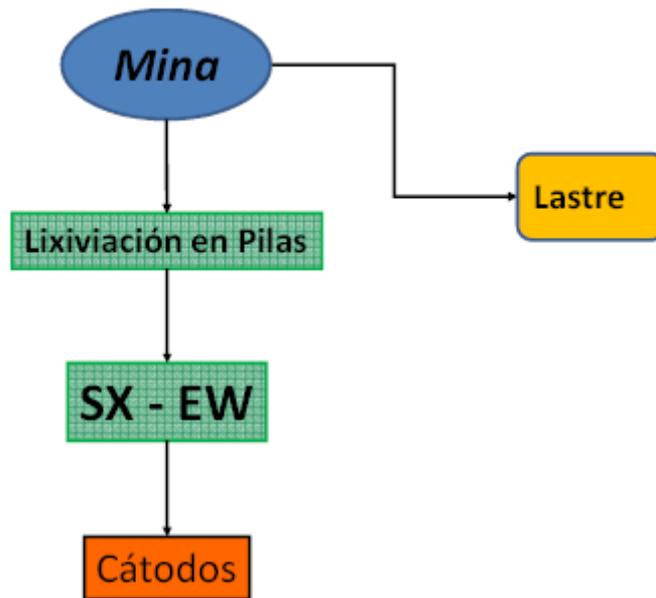


Figura 15: Esquema de Procesos Mina - Planta

### 8.2.7 Resultados Optimización W4X Mina Sierra Miranda

En el Figura 16 se muestran los resultados de las cubicaciones de cada pit tomando como referencia el precio del cobre en 2.1 US\$/lb, en donde el pit 36 corresponde a Revenue Factor 1.

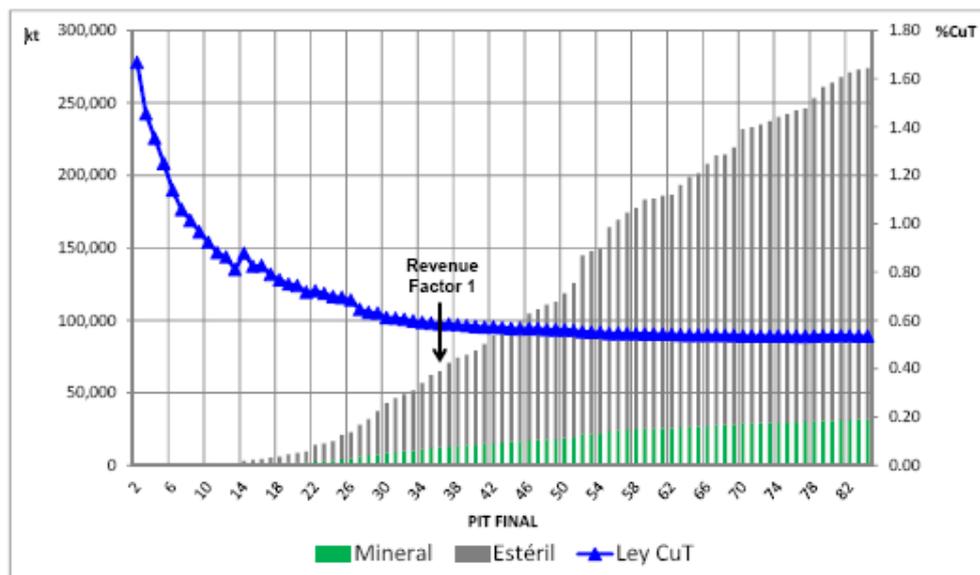


Figura 16: Resultados por Pits a través de W4X

A partir de los incrementos de movimiento de roca total mínimo de 30 millones de toneladas, se definieron los Pits: 5, 17, 20, 33 y 82 como Fases potenciales sin operativizar para un análisis de pit final. En la Tabla 20 se indican las ubicaciones de cada una de estas fases.

Pit	Precio Cu US\$/lb	Roca Total kt	Mineral kt	Estéril kt	REM	Ley CUT %CuT	Ley CUS %CuS
27	1.72	27,958	5,939	22,019	3.7	0.64	0.52
36	2.10	64,762	12,342	52,420	4.3	0.59	0.47
46	2.52	104,518	17,313	87,205	5.0	0.57	0.45
52	2.77	144,737	21,601	123,136	5.7	0.55	0.44
59	3.07	183,088	25,381	157,707	6.2	0.54	0.43
69	3.49	219,230	28,278	190,952	6.8	0.54	0.43
86	4.20	276,354	31,840	244,514	7.7	0.53	0.43

Tabla 20: Pits seleccionados para fases teóricas

Desde la Figura 17 muestran una planta típica con la secuencia de los pits anidados, en donde se advierte que la formación de pequeños pits anidados a lo largo de la mineralización, con formas de grandes trincheras.

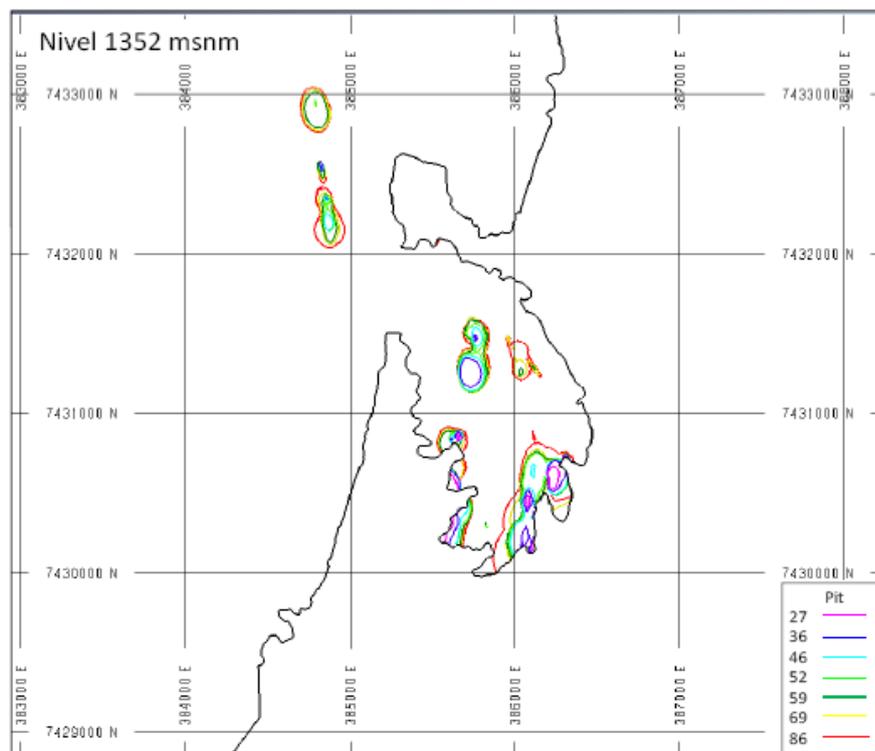


Figura 17: Pits Anidados W4X – Nivel 1352 msnm

## **8.2.8 Estudio determinación Pit Final**

### **8.2.8.1 Parámetros y Criterios de Planificación**

Para la confección de los planes en el algoritmo Milawa Balanceado, se han considerado los siguientes parámetros:

Se definen como Fases los Pits 27, 36, 46, 52, 59, 69 y 86.

Restricciones para los Planes Mineros con Algoritmo Milawa:

- Capacidad Máxima de Movimiento Mina: 100, 50 y 25 ktpd.
- Capacidad Máxima de Producción de Cátodos de 20.000 ktpa
- Sin restricción de bancos por año en cada fase
- Sin limitación de desfase de bancos entre fases distintas.

Parámetros de costos e ingresos corresponden a los mismos utilizados en la optimización.

Se aplica una Tasa de descuento del 10% anual para el cálculo de los flujos actualizados en cada plan Milawa.

### **8.2.8.2 Planes Mineros Milawa**

Se realizaron Planes Mineros Milawa para tres escenarios de movimiento total de mina: 100, 50 y 25 ktpd, todos bajo la restricción de la capacidad de producción de cátodos de cobre de 20 mil toneladas anuales.

Luego, para cada escenario de mina, se realizó un análisis marginal de expansiones, considerando las fases definidas. En cada uno de estos planes se obtuvo un VAN referencial (sin inversiones, y a una tasa de descuento del 10% anual) a modo de comparar los planes mineros en cada pit final.

**Resumen Planes Mineros a Pit Final – Movimiento Mina 100 ktpd**

Pit Final	VAN Milawa	Mineral	Ley Media CUS	Lastre	REM	Vida Mina
	MUS\$		Mt			
27	30	6	0.52	22	3.7	1.2
36	37	12	0.47	52	4.3	2.2
46	30	17	0.46	87	5.0	3.3

**Resumen Planes Mineros a Pit Final – Movimiento Mina 50 ktpd**

Pit Final	VAN Milawa	Mineral	Ley Media CUS	Lastre	REM	Vida Mina
	MUS\$		Mt			
27	30	6	0.52	22	3.7	1.5
36	36	12	0.47	52	4.3	3.5
46	31	17	0.46	87	5.0	5.7

**Resumen Planes Mineros a Pit Final – Movimiento Mina 25 ktpd**

Pit Final	VAN Milawa	Mineral	Ley Media CUS	Lastre	REM	Vida Mina
	MUS\$		Mt			
27	27	6	0.52	22	3.7	3.0
36	31	12	0.47	52	4.3	7.1
46	27	17	0.46	87	5.0	11.5

Tabla 21: Resumen Planes Mineros a Pit Final – Movimiento Mina 100, 50 y 25 ktpd

Año	Flujo de Caja Acumulado	Flujo de Caja Anual	Roca Total	Mineral	Lastre	REM	Cobre Fino Recuperado	Ley CuS
	KUS\$	KUS\$	kt	kt	kt		t Cu fino	%CuS
1	12,668	12,668	34,076	6,362	27,715	4.4	20,003	0.42
2	30,731	18,064	28,875	5,115	23,760	4.7	20,003	0.52
3	36,451	5,720	1,808	855	952	1.1	3,323	0.52
<b>Total</b>	<b>36,451</b>	<b>36,452</b>	<b>64,759</b>	<b>12,332</b>	<b>52,427</b>	<b>4.3</b>	<b>43,328</b>	<b>0.47</b>

Tabla 22: Plan Minero 100 ktpd

## 8.2.9 Conclusiones y Recomendaciones

De acuerdo los resultados obtenidos en este ejercicio de optimización y análisis de las reservas del yacimiento Sierra Miranda, se desprenden las siguientes conclusiones:

- A un precio del cobre de largo plazo de 2.1 US\$/lb y bajo las orientaciones comerciales descritas, las reservas extraíbles de Sierra Miranda corresponden a 12.3 Mt a una ley media de 0.47 %CuS, con una razón lastre mineral de 4.3.
- El mejor plan minero, confeccionado con el algoritmo de Milawa Balanceado se encuentra dado por un ritmo de producción mina de 100 ktpd de movimiento mina total y una capacidad máxima de producción de cátodos de 20.000 toneladas de cobre fino año, comprendiendo una vida productiva de 3 años.
- Se recomienda mejorar el soporte del modelo geotécnico con la finalidad de incrementar el ángulo de talud global para las optimizaciones, e incrementar el mineral en cada una de las envolventes de la optimización y reduciendo la razón estéril mineral.
- El nivel de este estudio es de Scoping Study, es decir es un estudio de ingeniería preliminar o de alcance, cuyo objetivo es poner a disposición los primeros antecedentes minero-económicos de un proyecto, al cual se le debieran realizar más estudios tanto en el campo geológico, como minero y de procesos para obtener resultados más exactos.

### 8.3 Estudio Técnico y Económico Alternativas Estudiadas

Tal como ya se ha manifestado en esta etapa del modelo de negocio es necesario revisar las dos alternativas estudiadas, ya sea una explotación del yacimiento Sierra Miranda por un método subterráneo a ritmo como los actuales y ver la alternativa de aumentar los ritmos de desarrollo y por ende los de producción con la finalidad de acelerar la captura de cobre fino a través del tiempo. Por otro lado, la alternativa de explotación a rajo abierto con una explotación que puede ir desde 25 ktpd hasta un ritmo de 100 ktpd, es decir una operación de la actual operación Mantos Blancos, el conocimiento y experiencia en la explotación de esta envergadura es un tema de importante en la toma de decisión de esta alternativa de negocio.



Figura 18: Alternativas a evaluar en modelo negocio Sierra Miranda

En la Figura 18 se puede observar que para poder tomar una buena decisión en este importante negocio minero se deben analizar todas las alternativas posibles, después de realizar una matriz de decisión con el equipo que lidera este trabajo se ha planteado analizar las siguientes alternativas:

#### **Caso N°1:**

- Explotación Subterránea
- Recursos: 14.5 Mton
- Capacidad Movimiento: 240 kton/mes

#### **Caso N°2:**

- Explotación Subterránea
- Recursos: 14.5 Mton
- Capacidad Movimiento: 300 kton/mes

#### **Caso N°3:**

- Explotación Subterránea
- Recursos: 14.5 Mton
- Capacidad Movimiento: 300 kton/mes, procesamiento en Sierra Miranda

#### **Caso N°4**

- Explotación Subterránea
- Recursos: 32 Mton
- Capacidad Movimiento: 240 kton/mes

#### **Caso N°5**

- Explotación Subterránea
- Recursos: 32 Mton
- Capacidad Movimiento: 300 kton/mes

#### **Caso N°6**

- Explotación Rajo Abierto
- Recursos: 12.3 Mton
- Capacidad Movimiento: 750 kton/mes

En Tabla 23 se observa el análisis con cada una de las variables que se han considerado estratégicos por la futura toma de decisión de este negocio minero, estas son las siguientes: Cantidad de recursos mineros disponible a ser explotados por el método de explotación seleccionado, en segundo lugar considerando las orientaciones comerciales y/o términos de referencia definidos por Anglo American, incluyendo la estimación de costos, se definen las reservas mineras en la categorías probadas y probables, excluyendo todo los materiales de categoría inferidos. En tercer lugar viene la cantidad de años en el cual se explotaran las reservas mineras y si en este tiempo las inversiones pueden ser amortizadas, otra variable de suma importancia en estos análisis es la capacidad de extracción de movimiento y por ultimo esta la alternativa de procesar este cobre por dos vías una es en la nave EXSW de Sierra Miranda ó en la planta de cátodos de Mantos Blancos.

		Caso Base 14.5 Mton Reservas			Caso Expandido 32 Mton Reservas		Mina Rajo
	Unidad	Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4	Caso 5	Caso 6
<b>Recursos</b>	Mton	97	97	97	97	97	64.7
<b>Reservas</b>	Mton	14.5	14.5	14.5	32.0	32.0	12.3
<b>Vida Util</b>	Años	6	5	6	12	10	8
<b>Capacidad Extracción Mina Subterránea</b>	Ton/mes	240.000	300.000	240.000	240.000	300.000	750.000 (mineral/año)
<b>Planta de SX-EW</b>	Lugar	MB	MB	SM	MB	MB	MB

- Hemos considerado 6 casos de acuerdo a los siguientes criterios
  - Cantidad de reservas (14.5 Mton , 32 Mton y 12.3 Mton(Rajo))
  - Capacidad de extracción de la mina subterránea ( 240kton/mes y 300 kton/mes)
  - Capacidad de extracción de la mina Rajo 750 Kton/mes
  - Caso 3: Procesar en planta de SX-EW de SM

Tabla 23: Variables Estratégicas a evaluar en los Caso Base y Expandido

Si además, de las variables antes mencionadas para cada caso a analizar se debe incorporar la estimación de finos de cobre a recuperar para cada caso, en la tabla adjunta se muestran las leyes de alimentación a planta y sus respectivas

recuperaciones, con lo cual se estiman las producciones de cobre fino. Al ver esta tabla y grafico se puede observar que las producciones de cobre dependiendo del caso en estudio varían de 5.930 ton cobre por mes hasta un máximo de 15.606 ton cobre por mes. Si consideramos toda la vida del proyecto de explotación de la mina estos valores se ven muy atractivos ya que dependiendo de la alternativa escogida varían entre 63.107 y 138.763 toneladas de cobre. Ahora en forma anual las producciones están del orden entre 12.500 y 16.000 toneladas de cobre fino, si consideramos que las producciones de cobre para el próximo quinquenio en la operación Mantos Blancos, es la siguiente:

2012: 70.000 ton cobre por año  
 2013: 70.000 ton cobre por año  
 2014: 63.000 ton cobre por año  
 2015: 50.000 ton cobre por año  
 2016: 45.000 ton cobre por año

Promedio Quinquenio 2013-2016:

**60.000 ton cobre por año**

	Un	Caso Base 14 Mton Recursos			Caso Expandido 32 Mton Recursos		Mina Rajo
		Caso1	Caso2	Caso3	Caso4	Caso5	Caso6
Capacidad Mina	Kton/mes	240	300	240	240	300	750
Ley CuS	%	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58	0.47
Recuperación CuS	%	75	75	75	75	75	75
Cobre Fino	ft/mes	1.040	1.300	1.040	1.040	1.300	494
<b>Cobre Fino</b>	<b>ft/Año</b>	<b>12.485</b>	<b>15.606</b>	<b>12.485</b>	<b>12.485</b>	<b>15.606</b>	<b>5,930</b>
<b>Cobre Fino</b>	<b>Kft</b>	<b>63,107</b>	<b>63,107</b>	<b>63,107</b>	<b>138,763</b>	<b>138,763</b>	<b>43,361</b>

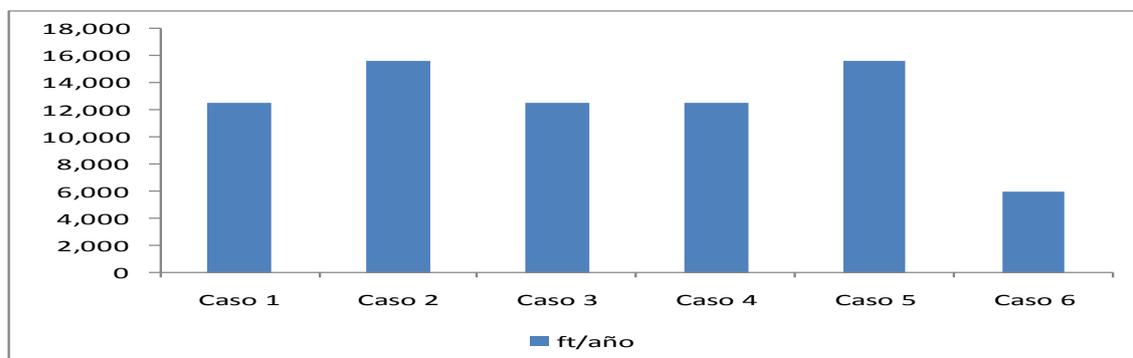


Tabla 24: Parámetros Técnicos a analizar en los diferentes casos de estudio

Por lo tanto, un promedio de 14.250 ton cobre por año (media de 12.500 ton y 16.000 ton), significa en términos porcentuales un incremento en términos de producciones de cobre del orden del 24%, lo que en términos económicos con un precio del cobre por sobre los 3 US\$/libra, significa un excelente negocio para Mantos Blancos, y así poder posicionar a esta operación minera en el segundo cuartil de costo de la industria minera nacional y enfrentar si el precio de los metales tiene una baja importante tal como ocurrió en el último trimestre del año 2008 en donde el precio tuvo un descenso violento llegando en diciembre de es año a un precio 1.36 US\$/libra, lo que puede significar que varias operaciones mineras se vean en la necesidad de revisar sus planes de cierre y/o postergación inmediata de inversiones futuras por la incertidumbre del mercado, influido por variaciones del mercado de la oferta y demanda y variables exógenas al proceso minero. En la Figura 19 se puede lo competitivo que estamos y lo relevante que es poder incrementar a la brevedad las producciones de cobre sobre todo si tenemos la capacidad en nuestra planta de cátodo y así poder mejorar nuestros costos operacionales.

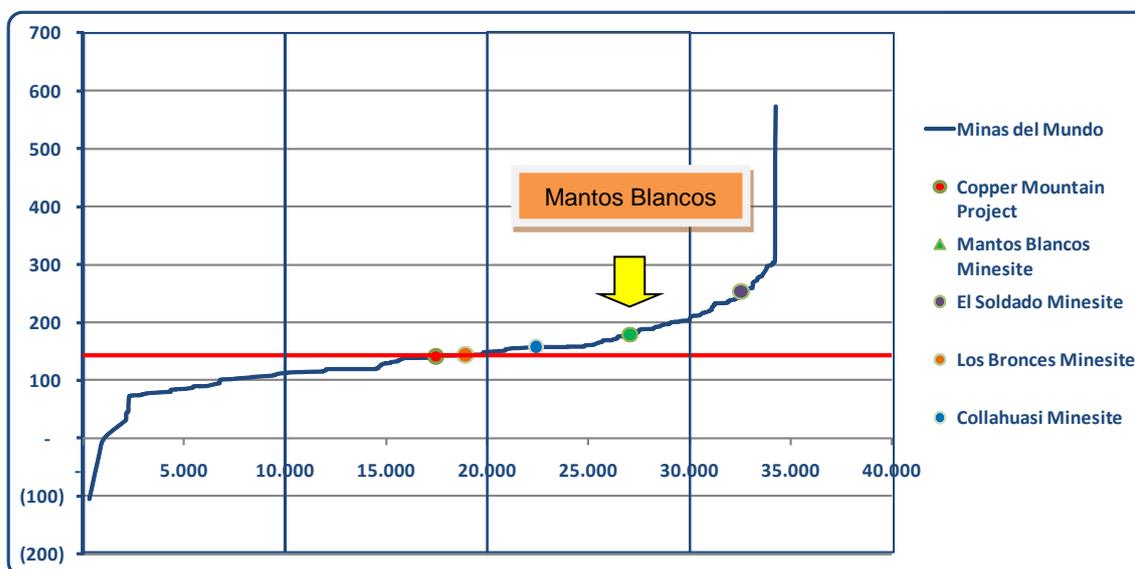


Figura 19: C1 en cUS\$/lb Empresa Mineras – Brook & Hunt 2011

### 8.3.1 Costos Operacionales alternativas estudiadas

A continuación se desplegará en la tabla adjunta el desglose de los costos de cada una de las seis opciones estudiadas, en donde se incluyen los costos de explotar la mina, el procesamiento de los minerales, pero separado por operaciones unitarias tales como: Chancado, Lixiviación, Extracción por Solventes y Electro obtención, Impulsión de soluciones, Gastos Generales, Comercialización del producto y Royalty a Sierra Miranda. Con estos valores de costos por unidad productiva se calculan los costos de C0 y C1 en cUS\$/libra, en forma global se están estudiando dos alternativas que en global a los seis casos en estudio, estos se denominan Caso Base y Caso Expandido.

Costos Operacionales	Un	Caso Base 14 Mton Reservas			Caso Expandido 32 Mton Reservas		Mina Rajo
		Caso1	Caso 2	Caso 3	Caso 4	Caso 5	Caso
Costo Mina	US\$/ton	16.2	15.2	16.2	16.2	15.2	1.5
Chancado	US\$/ton	1.74	1.74	1.74	1.74	1.74	1.74
Lixiviación	US\$/ton	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
SX-EW	c/lb	14.9	14.9	26.9	14.9	14.9	14.9
Impulsión	c/lb	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5
G&A	c/lb	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.5
<b>Costo C0 *</b>	<b>c/lb</b>	<b>240.1</b>	<b>223.4</b>	<b>253.0</b>	<b>226.7</b>	<b>222.4</b>	<b>184.0</b>
Comercialización	c/lb	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7
Royalty SM	c/lb	0%	0%	0%	0%	0%	0%
<b>Costo C1 *</b>	<b>c/lb</b>	<b>244.4</b>	<b>227.2</b>	<b>256.8</b>	<b>230.4</b>	<b>226.1</b>	<b>187.8</b>

Tabla 25: Resultados Costos Operacionales del Proyecto Sierra Miranda

Consideraciones para el análisis de los diferentes casos:

- Los costos desde la mina a la etapa de lixiviación corresponden a información proporcionadas por Sierra Miranda
- Para la evaluación se considera el costo variable de SX-EW de Mantos Blancos
- En el caso de la explotación de la mina Subterránea ampliada se incluyó inversión de 20 MUS\$, en tres años.
- El caso de explotación Rajo Abierto se considera una inversión por 27.6 MUS\$ en equipamiento minero.

Como resumen general los costos de operación (C0, cUS\$/lb) varían en torno a los 238 cUS\$/lb para el Caso Base y 210 cUS\$/lb para el Caso Extendido.

Si se considera el costo total (C1, cUS\$/lb) de la operación de la mina Sierra Miranda estos valores son los que a continuación se presentan: 242 cUS\$/lb para el Caso Base y 215 cUS\$/lb para el Caso Extendido.

### 8.3.2 Parámetros Económicos

A continuación se presentan los parámetros económicos que son parte de los términos de referencias en la parte financiera de Anglo American para su operación Mantos Blancos. En estos se consideran el precio de los principales insumos que se requieren en el proceso productivo tales como: Combustible, Ácido sulfúrico, Cal, Agua, Explosivos, Aceros, etc. Además, del otro grupo importante como son el precio del cobre, tasa cambiaria, índice precio al consumidor (IPC), en la Tabla 26 se muestran estas variables.

	Unidad	2011	2012	2013	2014	2015	LT
Precio Cobre (Real)	US\$/lb	3.80	3.79	3.63	3.09	2.53	2.17
Tipo Cambio	US\$/CLP	489.0	475.2	471.0	495.9	518.3	518.3
IPC	%	2.50	3.15	3.12	3.12	3.00	3.00
Energía	cUS\$/KWH	9.55	10.77	9.69	9.80	9.99	10.4
Diesel	US\$/LT	0.83	0.85	0.82	0.82	0.82	0.79
Acido	US\$/KG	118.5	121.3	150.1	107.3	89.2	103,0
Explosivos	US\$/KG	0.48	0.63	0.70	0.73	0.77	0.68

Tabla 26: Parámetros Económicos para Proyecto Sierra Miranda

### 8.3.3 Modelo Valorización Mina Sierra Miranda, resultados económicos:

Después de analizar todo lo antes expuesto con todos los parámetros técnicos de acuerdo a los trabajos descritos en este informe y con los parámetros económicos se realiza la evaluación económica del proyecto compra de la mina Sierra Miranda, para cada uno de los casos se calculan los NPV (Valor Presente Neto) con diferentes tasa de descuento, en este caso al 10% y 11%, para posteriormente calcular la Tasa Interna de Retorno (TIR, ó en ingles IRR).

	Un	Caso Base 14 Mton Recursos			Caso Expandido 32 Mton Recursos		Mina Rajo
		Caso1	Caso 2	Caso 3	Caso 4	Caso 5	Caso 6
NPV @ 11%	US\$m	34.6	53.7	24.5	34.2	41.4	24.9
NPV @ 10%	US\$m	35.6	55.2	25.2	34.7	42.2	25.9
IRR	%	270%	269%	178%	454%	401%	156%

Tabla 27: Resultados Evaluación Económica del Proyecto Sierra Miranda

La valorización del Sierra Miranda considera el valor del activo. No incluye el costo de la compra.

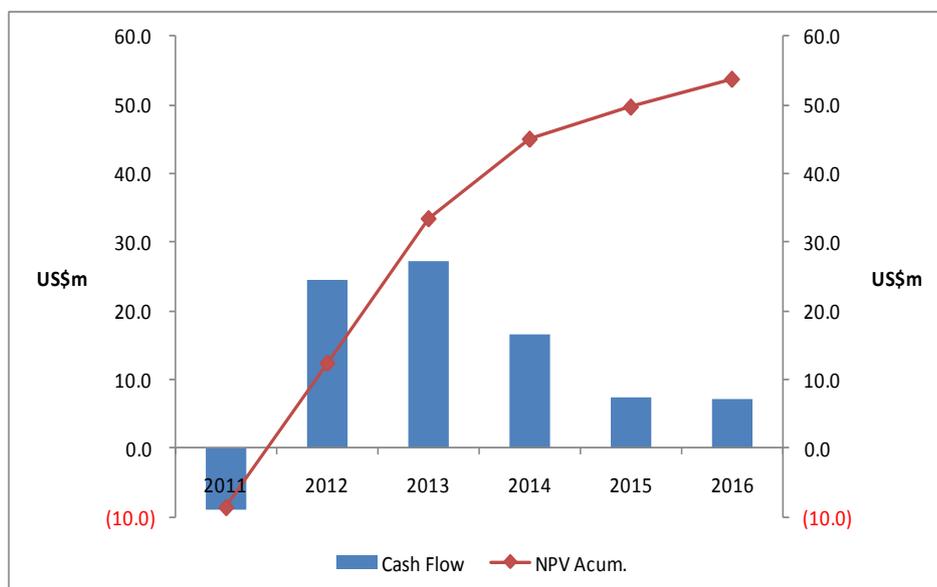


Figura 20: Muestra el gráfico como se mueven los flujos del proyecto

## **9 Responsabilidad Social Empresarial**

“Criterios de Sustentabilidad aplicados a empresas Mineras”. El ICMM propone a sus empresas miembros un marco de 10 Principios de Sustentabilidad y también una Política de Cambio Climático. Estos principios y Política abarcan temas de gobierno corporativo, desarrollo sustentable y conservación de la biodiversidad, entre otros.

En mayo del 2003, el Consejo de Directores Ejecutivos del ICMM comprometió a los miembros corporativos a implementar 10 Principios de desarrollo sustentable y a medir su desempeño a la luz de los mismos.

Los 10 Principios fueron elaborados teniendo como referencia otros estándares globales destacados tales como la Declaración de Rio de 1992, la Global Reporting Initiative, las Líneas Directrices de la OCDE para Empresas Multinacionales, las políticas operacionales del Banco Mundial, la Convención de la OCDE sobre la Lucha contra la Corrupción, las Convenciones 98, 169 y 176 de la OIT y los Principios Voluntarios sobre Seguridad y Derechos Humanos.

En nuestro caso Anglo American, compañía que en Chile presenta 5 divisiones operativas: Minas Mantos Blancos, Mantoverde, El Soldado, y Los Bronces; Fundición Chagres; y el 44% de participación en Collahuasi, todas enfocadas a la producción de cobre.

Anglo American como miembro del ICMM cree que, actuando colectivamente la industria minera y de metales puede lograr mayores garantías de acceso continuo a la tierra, el capital y los mercados, así como generar confianza y respeto mediante la demostración de su capacidad para contribuir con éxito al desarrollo sustentable.

Principio N°1: “Implementar y mantener prácticas éticas de negocios y sistemas sólidos de gobierno corporativo.”

Con respecto a este punto, Anglo American y sus divisiones operativas están actuando basado en los principios del “Buen Ciudadano Corporativo” que

establecen la responsabilidad de nuestra empresa frente a todos nuestros grupos de interés:

- Accionistas / Inversionistas
- Trabajadores
- Comunidades
- Clientes y socios comerciales
- Organismos gubernamentales
- Organizaciones no gubernamentales

Principio N°2: “Integrar los temas de desarrollo sustentable al proceso de toma de decisiones de la empresa.”

Integrar los principios de desarrollo sustentable a las políticas y prácticas de la empresa.

Planificar, diseñar, operar y cerrar operaciones de una manera que contribuya al desarrollo sustentable.

Implementar buenas prácticas e innovaciones para mejorar el desempeño social, ambiental y económico, al mismo tiempo que se aumenta el valor para el dueño o accionista.

Alentar a clientes, socios comerciales y abastecedores de bienes y servicios a adoptar principios y prácticas equiparables a las propias.

Brindar formación en desarrollo sustentable para garantizar capacidades adecuadas del personal propio y los contratistas, a todos los niveles.

Apoyar las políticas y prácticas de gestión públicas dirigidas a promover la apertura y competitividad de los mercados.

En cuanto a este principio, podemos comentar que nuestra empresa está aplicando lo siguiente:

Gestión ambiental y social

En 2009 comenzó a regir la nueva Política Ambiental y Social de Anglo American, con principios y un marco de gestión con estándares específicos, que aplica no sólo en todas sus operaciones, sino también en la totalidad de las etapas de gestión, como en la identificación de negocios, evaluación de proyectos, implementación de ellos, operación y cierre de faenas. Este estándar, que es conocido como Anglo Environment Way, cubre áreas clave de gestión y contiene requerimientos obligatorios a nivel corporativo. Por otra parte, Anglo American cuenta con una política social conocida como el Anglo Social Way, que entrega el marco de gestión para ser reconocido como el socio de elección en las comunidades donde se insertan las operaciones de la compañía.

Ellos apoyan la visión, los principios y la Política de Gestión Ambiental y Social, para garantizar que la compañía controlará y mitigará los potenciales impactos asociados con su operación. Además, los estándares de desempeño contienen guías y herramientas de gestión adecuadas para cada tema ambiental y social relevante.

Anglo Environment Way considera variables como la evaluación de impacto social y ambiental de las operaciones, agua, calidad del aire, residuos mineros y no mineros, sustancias peligrosas, biodiversidad, rehabilitación y planes de cierre.

El desempeño ambiental es liderado por un Vicepresidente de Seguridad y Desarrollo Sustentable, que reporta directamente al CEO de las operaciones en Chile. Reportan al VP todas las gerencias de medio ambiente y relaciones comunitarias de las 5 divisiones que Anglo opera en el país.

Desde el punto de vista social, la empresa canaliza gran parte de sus actividades a través de la Fundación Anglo, entidad que ha definido cuatro grandes pilares para desarrollar su trabajo:

- Vivienda
- Educación
- Emprendimiento
- Desarrollo Social

Paralelo, con lo anterior, las gerencias de Medio Ambiente y Relaciones Comunitarias presentes en cada operación, bajo la coordinación de la Fundación, llevan a cabo programas directos con las comunidades de su entorno.

El enfoque de la estrategia de desarrollo sustentable establece como fundamental la identificación, evaluación y gestión de los impactos de sus operaciones en las comunidades vecinas.

Para ello, se cuenta con el SEAT (Socio-Economic Assessment Toolbox), una herramienta de gestión socioeconómica utilizada por todas las empresas del Grupo Anglo American. Este instrumento permite identificar los problemas más relevantes de las comunidades vecinas asociadas a las operaciones y proponer respuestas eficientes para su desarrollo.

Esta herramienta fue elaborada en 2002 por el Grupo Anglo American en colaboración con la consultora Environmental Resources Management (ERM). En 2004, la Fundación Casa de la Paz aplicó SEAT en nuestras cinco divisiones productivas, convirtiéndola en la primera del Grupo Anglo American en implementar esta metodología en todas sus unidades productivas.

La aplicación de SEAT se realiza con los siguientes objetivos estratégicos:

- Identificar los impactos socioeconómicos claves y los aspectos que deben ser gestionados.
- Evaluar las iniciativas existentes, proporcionar información de retorno sobre su éxito y adecuación, e identificar donde se pueden realizar mejoras.
- Proporcionar un marco analítico para ayudar a las operaciones a evaluar su sustentabilidad, especialmente en lo que respecta a la compatibilización de la extracción de recursos naturales con mejoras del capital social y humano.
- Garantizar que asumimos y compartimos las “mejores prácticas”.
- Proporcionar una herramienta de planificación para la gestión de los impactos sociales y económicos de las operaciones, incluyendo la inversión social y el cierre de minas.

- Reunir y cotejar datos con el propósito de mejorar la comunicación social de la empresa, así como el desarrollo de indicadores que sean pertinentes para las condiciones locales.
- Proporcionar una metodología que permita la constante evaluación y seguimiento de las instancias de interacción con las comunidades, incorporando mejoras en forma continua.

Principio N°6: “Buscar el mejoramiento continuo de nuestro desempeño ambiental.”

- Evaluar los impactos ambientales positivos y negativos, directos e indirectos, así como acumulativos, de los nuevos proyectos, desde la exploración hasta el cierre de operaciones.
- Implementar un sistema de gestión ambiental dirigido al perfeccionamiento continuo en la revisión, prevención o mitigación de los impactos ambientales adversos.
- Rehabilitar los terrenos alterados u ocupados por las operaciones, según los usos posteriores apropiados de los mismos.
- Asegurar el almacenamiento y disposición segura de los desechos y residuos de proceso.
- Diseñar y planificar todas las operaciones de manera que se pueda disponer de los recursos adecuados para cumplir con los requisitos de cierre de las mismas.

Anglo ha desarrollado Principios y Política, un Estándar de Sistema de Gestión Ambiental (EMS), un Estándar de Evaluación de Impacto Social y Ambiental (S&EIA) y Estándares de Desempeño que cubren áreas claves de gestión (por ejemplo: agua, aire, biodiversidad, etc.). Estos estándares son requerimientos obligatorios, de alto nivel, establecidos a nivel corporativo. Ellos apoyan la Visión, Principios y Política Ambiental de Anglo, perfilan el enfoque requerido para evitar o minimizar los potenciales impactos ambientales adversos asociados a nuestras actividades.

En el caso de este trabajo la responsabilidad social es de suma importancia por lo preponderante que es para Anglo American su operación Mantos Blancos, un icono de la industria minera nacional con las 50 años de operación en la segunda región y que fue por muchos años junto a la mina Chuquicamata de las pocas empresas mineras que aportaban al desarrollo regional y nacional. Por esto es relevante continuar generando oportunidades de negocio para poder incrementar las reservas mineras y poder seguir siendo un actor importante dentro de la industria minera, cabe recordar que nuestro gran desafío es extender la vida de Mantos Blancos hasta el año 2030 en forma sustentable, preocupado por el medio ambiente, la seguridad de nuestros trabajadores propios y externos, manteniendo un clima laboral armónico de mucha confianza y con la filosofía de mejoramiento continuo de los procesos productivos y a un nivel de costos competitivos.

## **10 Conclusiones generales:**

- Al analizar los resultados obtenidos en la Tabla 27 se puede apreciar que la opción más atractiva corresponde al Caso 2.
- A partir de esta valorización debemos estudiar una forma de negociar la compra del yacimiento Sierra Miranda.

Debido a que el Caso 2 es el más atractivo en base a lo antes expuesto, se solicita por parte Mantos Blancos revisar con mayor profundidad y detalle información del proyecto conceptual de explotación de mina subterránea de Sierra Miranda (Caso 2), principalmente en lo que se refiere a la cantidad de mineral disponible a explotar y posteriormente procesar. Este estudio consistió en hacer una planificación minera a nivel Prefactibilidad con la información disponible y con el grado de confiabilidad que se tiene, en cuanto al plan minero de desarrollo y producción. Este se realizó en forma inmediata y los resultados nos muestran que existe una diferencia en la cantidad de mineral a procesar, inicialmente la cantidad de mineral era de 14.5 millones de toneladas de 0.58% cobre soluble, que iban a producir 1.300 ton de cobre por mes. Con los nuevos antecedentes desglosados en la Tabla 28, se puede apreciar que la nueva cubicación de mineral a ser

explotado disminuye a 14.1 millones de toneladas con una ley de 0.40%, lo que arroja una producción mensual de 833 toneladas de cobre vía cátodos.

	Caso Base 14,1 Mton Reservas	
	Kton	CuS
Mineral	5,445	0.58%
Stockpile	8,677	0.29%
Total	14,123	0.4%

Capacidad Mina	Kon/mes	300
Ley CuS	%	0.4
Recuperación CuS	%	75
Cobre Fino	ft/mes	833
<b>Cobre Fino</b>	<b>ft/Año</b>	<b>10,000</b>
<b>Cobre Fino</b>	<b>Kft</b>	<b>50,340</b>

Tabla 28: Nuevos resultados Caso 2

### Lecciones Aprendidas

En todo proyecto de esta envergadura es de suma importancia considerar todas las variables relevantes para poder tomar una decisión acertada y que los riesgos se minimicen, con la finalidad de que los accionista tengan la confianza de haber invertido en forma seguro y que cada dólar pueda rendir lo esperado.

En este proyecto denominado modelo de negocio, se consideraron todas las variables que pueden definir este proyecto tales como: modelo de recursos y reservas mineras, variables económicas, tipo de explotación del yacimiento, inversiones, producciones de cobre futuras, opciones de procesamiento de minerales ya sea en Mantos Blancos o en su efecto en la planta de Sierra Miranda.

En este caso después de tener gran parte de las variables del proyecto, se continúa evaluando y se desprende que las leyes de cobre de explotación del

yacimiento en una nueva evaluación al nivel de Ingeniería Prefactibilidad esta baja ostensiblemente, provocando que en la evaluación económica los resultado no sean viables para la envergadura de la inversión. Por lo tanto, se plantea seguir la alternativa de comprar de soluciones PLS y procesarlas en la planta de cátodos de Mantos Blancos.

## **11 Bibliografía**

- Análisis de Reservas Mineras Sierra Miranda
- Visita Técnica Sierra Miranda, año 2011
- Evaluación Geotécnica Estabilidad Labores Subterráneas Sectores: Nicolasa y Yammal, Empresa AKL, Agosto 2010
- Antecedentes Digitales Topográficos, Sierra Miranda
- Informe de Producción Cobre Fino año 2011, Sierra Miranda
- Informe Run of Mine, Sierra Miranda
- Estimación de Recursos Mineros Proyecto Sierra Miranda, María Eugenia Segovia Concha, Marzo 2011