



**UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FISICAS Y MATEMATICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA CIVIL DE MINAS**

DILUCIÓN OPERACIONAL EN MINA EL SOLDADO

MEMORIA PARA OPTAR AL TITULO DE INGENIERA CIVIL DE MINAS

CLAUDIA FERNANDA DE NICOLA PEREZ

PROFESOR GUIA:

JUAN ALBERTO MONTES ABALLAY

MIEMBROS DE LA COMISION:

HANS GÖPFERT MIELBIG

LINDA MARCELA CASTILLO DELGADO

SANTIAGO DE CHILE

2015

RESUMEN

Uno de los principales problemas de la minería corresponde a la determinación de la dilución operativa, la cual genera un impacto en el beneficio económico, haciendo que muchas veces se incurra en menores retornos de los esperados.

Existe un sinfín de causales de dilución, partiendo por las características inherentes de la roca mineral a explotar (como la geología y geomecánica del sector); la selección de equipos mina; la altura de los bancos del rajo (en el caso de minería a cielo abierto) y la inclinación del mineral respecto de la horizontal, lo que repercutirá en el desplazamiento producto de la voladura; la interacción con otras estructuras de la mina (fallas, cuñas y cavidades); y no olvidar la experiencia y conocimiento de los operadores de equipos.

El objetivo general del presente trabajo es analizar diferentes focos de dilución en la mina El Soldado, cuantificando su importe en la dilución global y estudiando posibles soluciones para disminuirla. Asimismo, se pretende entender la forma de operar una faena a cielo abierto, donde existen muchísimas dificultades de operación (cuñas, poco mineral, cuerpos mineralizados aislados, etc.), además de complicaciones económicas por las pérdidas millonarias que se producirán en El Soldado en los próximos años.

La metodología de la experiencia consiste en: presentación del problema, análisis de antecedentes operacionales de la faena, revisión bibliográfica de la temática en estudio, identificación y análisis de los puntos de dilución en la operación, finalizando con una evaluación económica.

Los focos de dilución a estudiar son: modelo geológico, definición de polígonos de extracción operativos, tronadura, forma de carguío, selectividad de equipos de carguío, caserones rellenos, error de muestreo geológico, caminos y rampas y prácticas operacionales.

La distribución inicial de la dilución en la operación es la que se muestra a continuación:



Ilustración 1: Distribución inicial de dilución en El Soldado

Se concluye que, disminuyendo la dilución a un 5% (valor asociado al modelo geológico), se obtienen ganancias de \$9,25 MUSD.

ABSTRACT

One of the main problems of mining corresponds to determining the operational dilution, which has an impact on the economic benefit, which often incurs on lower returns than expected.

There are countless causes for dilution, starting with the inherent characteristics of the mineral rock to explode (like mineralogy geometry and geomechanics); mine equipment selection; the height of the pit benches (in the case of open pit mining) and mineral inclination from the horizontal, which will affect the mineral displacement after blasting; interaction with other mine structures (faults, wedges and cavities); and not to forget the expertise of equipment operators.

The overall objective of this paper is to analyze different sources of dilution at El Soldado mine, quantifying the amount in the overall dilution and studying possible solutions to decrease it. It also seeks to understand how to operate an open pit mine, especially one where there are many operational difficulties (exposed faults, wedges, slightly mineral, isolated ore bodies, etc.) as well as economic implications for the high losses to occur in El Soldado in the coming years.

The methodology of the experience consist in: presentation of the problem, analysis of operational history of the mine, literature review of the topic under study, identifying points of dilution in the operation and an economic evaluation.

The emphases of dilution study are: geological model, operational definition of polygons removal, blasting, form loading, haulage equipment selectivity, stuffed cavities, geological sampling error, roads and ramps, and operational practices.

The initial distribution of the dilution in the operation is shown below:



Ilustración 2: Dilution initial distribution - El Solado Mine

It is concluded that reducing the dilution to 5% (value associated to the geological model), \$9.25 MUSD gains are obtained.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar quisiera agradecer a mi familia que fue, es y seguirá siendo un pilar fundamental en mi vida. Hubo momentos buenos y malos, pero siempre estuvieron a mi lado apoyándome y dándome las fuerzas necesarias para seguir el camino de convertirme en profesional.

A mi novio, futuro esposo, Sebastián Pizarro. Pensar que ya son siete años juntos y me acompañaste durante toda la vida universitaria, dándome amor, cariño y apoyo incondicional, además de los muchos consejos para poder sacar uno que otro ramo que se convirtieron en tormentos. Gracias por estar a mi lado y por todas las palabras de ánimo durante este proceso.

A todos mis amigos y compañeros de colegio y carrera. Las clases, estudios y juntas fueron más amenas por estar ustedes en ellas.

A los profesores Juan Montes y Hans Göpfert por darse el tiempo de leer cada uno de mis borradores y juntarse conmigo para darme diferentes recomendaciones de cómo abordar la memoria.

Y finalmente, a Anglo American, operación El Soldado, por darme la oportunidad de realizar mi memoria en sus dependencias y de conocer a las maravillosas personas que trabajan ahí. Hicieron de mi estadía en la mina un muy agradable recuerdo.

TABLA DE CONTENIDO

TABLA DE CONTENIDO	v
INDICE DE ILUSTRACIONES.....	viii
INDICE DE TABLAS	x
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Preliminares	1
1.2. Objetivos	2
1.2.1. General	2
1.2.2. Específicos	2
1.3. Alcances.....	2
1.4. Metodología	2
1.4.1. Presentación del problema	3
1.4.2. Análisis de antecedentes operacionales de la faena	3
1.4.3. Revisión bibliográfica de la temática en estudio.....	3
1.4.4. Identificación de puntos de dilución en la operación	3
1.4.5. Identificación, análisis y rediseño de métodos de control.....	3
1.4.6. Evaluación Económica	4
2. ANTECEDENTES DE LA EMPRESA	5
2.1. Anglo American – Compañía minera a nivel internacional.....	5
2.2. Anglo American en Chile	5
2.2.1. Reseña histórica	5
2.2.2. La seguridad como principio fundamental.....	6
2.2.3. Operaciones en Chile.....	7
3. ANTECEDENTES DE OPERACIÓN EL SOLDADO	8
3.1. Ubicación.....	8
3.2. Geología del yacimiento.....	8
3.3. Proceso productivo	9
3.3.1. Óxidos de cobre.....	11
3.3.2. Sulfuros de cobre	11
3.4. Operaciones unitarias y flota de equipos mina.....	12
3.4.1. Desarrollo	12
3.4.2. Perforación y Tronadura (P&T)	12
3.4.3. Carguío y Transporte (C&T).....	13

3.4.4.	Servicios de apoyo a la operación	13
3.5.	Diseño minero	14
3.6.	Estándares operacionales mina	15
3.6.1.	Frente de carguío	15
3.6.2.	Piso de bancos.....	18
3.6.3.	Caminos mineros.....	18
4.	MARCO TEÓRICO.....	22
4.1.	Ley de corte.....	22
4.2.	Selectividad minera	23
4.2.1.	Efecto soporte	23
4.2.2.	Efecto de la información	23
4.2.3.	Dilución minera	24
4.3.	Planificación minera.....	26
4.3.1.	Tipos de planificación minera	27
4.3.2.	Proceso de planificación.....	28
4.3.3.	Planificación en minería a cielo abierto	28
4.4.	Conciliación Mina – Planta	29
5.	PROBLEMÁTICA.....	30
6.	DILUCIÓN EN MINA EL SOLDADO.....	31
6.1.	Dilución planificada	31
6.1.1.	Dilución inherente del modelo geológico	31
6.1.2.	Dilución por definición de polígonos de extracción	34
6.2.	Dilución operacional.....	36
6.2.1.	Dilución por tronadura	36
6.2.2.	Dilución por forma de carguío.....	40
6.2.3.	Dilución por selectividad de equipos de carguío	42
6.2.4.	Dilución por caserones rellenos	42
6.2.5.	Dilución por error de muestreo geológico	44
6.2.6.	Dilución por caminos.....	45
6.2.7.	Prácticas operacionales.....	46
7.	EVALUACIÓN ECONÓMICA.....	48
8.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	50
8.1.	Dilución planificada	50
8.1.1.	Dilución inherente del modelo geológico	50
8.1.2.	Dilución por definición de polígonos de extracción	50

8.2.	Dilución operacional.....	50
8.2.1.	Dilución por tronadura.....	50
8.2.2.	Dilución por forma de carguío.....	51
8.2.3.	Dilución por selectividad de equipos de carguío	51
8.2.4.	Dilución por caserones rellenos	51
8.2.5.	Dilución por error de muestreo geológico	51
8.2.6.	Dilución por caminos.....	52
8.2.7.	Prácticas operacionales.....	52
9.	BIBLIOGRAFÍA.....	53
10.	ANEXOS	54
A.	Resultados prueba de tronadura con tubos de PVC.....	54
B.	Procedimiento de control de mineral	59
	Contenido.....	59
i.	Objetivo.....	59
ii.	Alcance	59
iii.	Terminología	59
iv.	Responsabilidades.....	59
v.	Equipos de protección personal y materiales	60
vi.	Impactos al medio ambiente.....	60
vii.	Descripción de la actividad.....	61
viii.	Actividades	61
ix.	Requerimientos legales aplicables	62
x.	Análisis de seguridad del trabajo	62
xi.	Anexos.....	66
C.	Instrumentación topográfica – Estación total.....	69
i.	Definición	69
ii.	Aplicaciones generales	71
iii.	Funcionamiento	71
D.	Protocolo de Muestreo y Preparación de Muestras.....	72
i.	Estándares de Cobre	72
ii.	Blancos	72
iii.	Duplicados.....	73

INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Distribución inicial de dilución en El Soldado.....	ii
Ilustración 2: Dilution initial distribution - El Solado Mine	iii
Ilustración 3: Metodología de trabajo.....	2
Ilustración 4: Países con operaciones mineras de Anglo American.....	5
Ilustración 5: Ubicación de divisiones de Anglo American en Chile.....	7
Ilustración 6: Mapa de ubicación de mina El Soldado	8
Ilustración 7: Agrupaciones de cuerpos mineralizados en mina El Soldado – Vista en planta.....	9
Ilustración 8: Fases operativas de mina El Soldado	9
Ilustración 9: Operación El Soldado	10
Ilustración 10: Destinos del mineral proveniente de la mina	10
Ilustración 11: Proceso productivo de mina El Soldado.....	12
Ilustración 12: Malla cuadrada (izquierda) ; Malla trabada (derecha).....	15
Ilustración 13: Ubicación de cargador y camión en frente de ancho mínimo	15
Ilustración 14: Carguío de camiones, cargador de frente al montón de saca	16
Ilustración 15: Carguío de camiones, cargador perpendicular al montón de saca.....	17
Ilustración 16: Carguío de camiones con Pala Hidráulica	17
Ilustración 17: Dimensiones Frente de Carguío para carga Doble de Pala	18
Ilustración 18: Ancho de camino de 2 pistas sin camellón central	19
Ilustración 19: Ancho de camino de 2 pistas con camellón central.....	19
Ilustración 20: Ancho de camino de 1 pista	20
Ilustración 21: Efecto soporte	23
Ilustración 22: Definición de polígonos de extracción (amarillo: mineral, azul: estéril).....	25
Ilustración 23: Tipos de contacto entre estéril y mineral	26
Ilustración 24: Movimiento mina y producción de cobre - Plan 2013 y 2014	30
Ilustración 25: Cash-flow de El Soldado	30
Ilustración 26: Rebloqueo desde Modelo de Estimación a Modelo de Planificación	31
Ilustración 27: Ejemplo de definición de zona estéril y zona mineral.....	32
Ilustración 28: Esquema demostrativo del uso del método I para rebloqueo.....	32
Ilustración 29: Esquema demostrativo del uso del método IP para rebloqueo	33
Ilustración 30: Tamaño de bloque.....	34
Ilustración 31: Polígono de extracción para una zona X de la mina (rojo:mineral ; blanco:estéril)	34
Ilustración 32: Esquema explicativo polígono de extracción	35
Ilustración 33: Distribución de dilución planificada	35
Ilustración 34: Desplazamiento de material tronado (gris oscuro: mineral, gris claro: estéril).....	36

Ilustración 35: Esquema de prueba de tronadura con cámara de alta velocidad	37
Ilustración 36: Secuencia de tronadura grabada por la cámara de alta velocidad	37
Ilustración 37: Esquema de prueba de tronadura con tubos de PVC	38
Ilustración 38: Disposición espacial de los tubos de PVC.....	38
Ilustración 39: Desplazamiento Pozo 1	39
Ilustración 40: Desplazamiento Pozo 2	39
Ilustración 41: Desplazamiento Pozo 3	39
Ilustración 42: Forma de extracción de palas y cargadores.....	40
Ilustración 43: Esquema de vista lateral de polígono a ser extraído	40
Ilustración 44: Imagen 3D obtenida con MineSight - Topografía real de bancos de extracción	41
Ilustración 45: Cavidades principales en El Soldado	42
Ilustración 46: Interacción de cavidades con rajo.....	43
Ilustración 47: Interacción de cavidades con rajo en el tiempo	43
Ilustración 48: Aproximación de forma de cavidades subterráneas.....	44
Ilustración 49: Error de muestreo en pozo de perforación.....	45
Ilustración 50: Esquema de relleno de rampas.....	45
Ilustración 51: Distribución de dilución operacional.....	47
Ilustración 52: Tarjeta de bolsillo tipo (Anverso y Reverso)	68
Ilustración 53: Estación total.....	70
Ilustración 54: Instrumentos topográficos que integra la estación total.....	70
Ilustración 55: Esquema de funcionamiento (triangulación) de la estación total	71
Ilustración 56: Diagrama de flujo de toma y preparación de muestras de sondajes	74

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Descripción general de faenas de Anglo American en Chile	7
Tabla 2: Flota de equipos de perforación	13
Tabla 3: Flota de equipos de carguío	13
Tabla 4: Flota de equipos de transporte	13
Tabla 5: Flota de equipos de servicios y estándar.....	14
Tabla 6: Parámetros de diseño minero	14
Tabla 7: Parámetros geotécnicos operacionales	14
Tabla 8: Dimensiones equipos de C&T [mm]	15
Tabla 9: Ancho mínimo de frente de carguío.....	16
Tabla 10: Capacidad y Ancho de Balde de Equipos de Extracción	34
Tabla 11: Dilución - Pata es mineral	41
Tabla 12: Dilución - Pata es estéril	41
Tabla 13: Dilución por caserones rellenos	44
Tabla 14: Cobre recuperado, 10% y 5% de dilución.....	48
Tabla 15: Plan Minero 2014 - El Soldado	48
Tabla 16: Cobre recuperado según plan 2014	48
Tabla 17: Muestras de estándares actualmente en uso en El Soldado	72

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Preliminares

La minería es una de las actividades más antiguas de la humanidad y consiste en la extracción selectiva de minerales, y otros materiales de la corteza terrestre, de los cuales se puede obtener un beneficio económico. Dependiendo del tipo de material a extraer, la minería se divide en: metálica, no metálica, piedras ornamentales y de construcción.

El proceso de minería involucra diferentes etapas para el desarrollo de un proyecto minero, dentro de los cuales tenemos: la búsqueda y estimación de recursos, generación del proyecto (prefactibilidad, factibilidad, ingeniería de detalles), obras, desarrollo minero o explotación (arranque y manejo de materiales), procesamiento y comercialización.

Los métodos de explotación pueden ser a cielo abierto o subterráneo. Los factores que lo determinarán serán, entre otros, la geología y geometría del yacimiento, las características geomecánicas del mineral y el estéril, y factores económicos que rigen la industria minera actual. Cada método de extracción tiene asociado sus equipos de trabajo específicos además de una metodología de operación particular.

Independiente de si se opta por un método de explotación a cielo abierto o subterráneo, la minería siempre implica la extracción física de materiales de la corteza terrestre, con frecuencia en grandes cantidades, para recuperar sólo pequeños volúmenes del producto deseado; el problema recae en que no siempre se recupera sólo el material de interés, sino que también se lleva a procesamiento parte de la roca sin valor económico, mayormente conocida como roca estéril.

Al extraer conjuntamente mineral y estéril, se reduce la pureza del primero disminuyendo su valor de venta, o aumentando el costo de procesamiento para intentar aislarlo del agente contaminante. Esta situación, conocida como dilución minera, es muy común en la industria y se debe principalmente a la forma de la mineralización y a la selectividad de los equipos de extracción.

La dilución minera es un concepto sumamente importante, puesto que a mayor porcentaje de dilución menor cantidad de mineral, de cobre en este caso, estaremos llevando a la planta para su procesamiento, lo que a fin de cuentas implica menores ingresos para la compañía.

El proyecto de memoria que se presenta a continuación, se enmarca en el escenario de diluciones mineras, donde se espera determinar los puntos conflictivos de la operación mina en los que es probable ocurra dilución, y cuáles son las formas, o mecanismos ad-hoc, para prevenir esta situación.

1.2. Objetivos

1.2.1. General

Desarrollar una metodología de análisis que permita establecer qué se entiende por dilución minera y en qué puntos operacionales puede darse tal condición.

1.2.2. Específicos

Los objetivos específicos que se han definido son:

- Definir que es la dilución minera y cómo se mide en la operación.
- Establecer de qué manera se ve afectada la operación minera, en términos de planificación y económicos, con diferentes porcentajes de dilución.
- Determinar la factibilidad de terminar o reducir el porcentaje de dilución.
- Establecer protocolos de operación y control que permitan tener monitoreada la dilución en la mina.
- Evaluar si el seguimiento de los protocolos de control permiten, efectivamente, controlar la dilución minera.

1.3. Alcances

- El estudio se realiza para minería a cielo abierto, específicamente para El Soldado de Anglo American, con las condiciones operacionales actuales de la mina.
- Planificación minera de corto plazo

1.4. Metodología

La metodología a utilizar para el desarrollo del proyecto de memoria se muestra en el esquema siguiente:

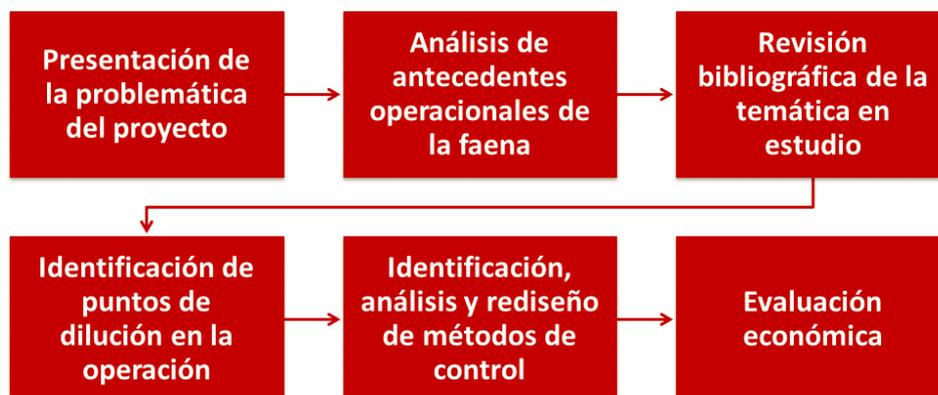


Ilustración 3: Metodología de trabajo

1.4.1. Presentación del problema

Para comenzar con el desarrollo del proyecto, se hace necesario conocer cuál es la problemática de la empresa y analizar los objetivos estratégicos de ella.

Así, esta primera etapa de la metodología consiste, básicamente, en la reunión inicial con los jefes de la operación donde se expone el tema a tratar durante la memoria y se entregan los primeros datos a estudiar.

1.4.2. Análisis de antecedentes operacionales de la faena

Contextualizar la mina El Soldado respecto a:

- Ubicación
- Geología
- Características de diseño
- Equipos mineros utilizados
- Producción

Asimismo, y dado que cada operación funciona diferente y tiene sus propias definiciones para un determinado concepto, se podrá determinar con exactitud qué entienden por dilución minera.

Teniendo claro lo anterior, se podrá comenzar a estudiar el porcentaje de dilución presente en la operación de manera de tener una línea base con la cual comparar a futuro.

1.4.3. Revisión bibliográfica de la temática en estudio

Una vez conocida la temática del proyecto de memoria, se hace indispensable realizar una búsqueda de bibliografía respecto de la problemática a tratar.

Principalmente, la revisión busca entender a cabalidad el tema en estudio, identificando los factores que lo determinan y las causales del mismo. También se pretende tener una primera visión de las posibles soluciones, basándose en experimentos o estudios realizados con anterioridad por otros estudiantes y/o académicos.

1.4.4. Identificación de puntos de dilución en la operación

Aquí se identificarán todos aquellos procesos de la operación minera que podrían estar aportando a la dilución global de la faena.

Cada punto será estudiado separadamente, enfocándose en la búsqueda del por qué está disminuyendo las leyes minerales. Además, se estimará cuál es el aporte porcentual, de cada punto problemático, a la dilución global de la mina, con lo que se podrá dar diferentes prioridades a cada uno de ellos.

1.4.5. Identificación, análisis y rediseño de métodos de control

Se estudiarán cuáles son los métodos con los que se busca disminuir o controlar la dilución minera. Debería existir un método o procedimiento para cada punto identificado, de no ser así, se analizarán las posibles mejoras que podrían tener los procesos para aminorar el efecto de variación en las leyes de cobre o en los tonelajes enviados a planta.

Una vez realizadas las observaciones y las recomendaciones de modificación a los procedimientos de control y/o al cómo se desarrollan las diferentes operaciones unitarias, se deberán llevar a la práctica estos cambios, de manera que se pueda distinguir si existen mejorías.

1.4.6. Evaluación Económica

En este punto se deberá realizar una comparación, en términos económicos, de la operación antes y después de implementar las medidas de mitigación. Con ello será posible otorgar sustento e importancia a los cambios de control realizados.

Finalmente, se entregará una serie de recomendaciones a la operación respecto de lo observado en terreno.

2. ANTECEDENTES DE LA EMPRESA

2.1. Anglo American – Compañía minera a nivel internacional

El grupo Anglo American es uno de los líderes mundiales en minería y recursos naturales. En todas y cada una de sus operaciones, la empresa busca compatibilizar la rentabilidad de sus accionistas con el bienestar de sus trabajadores, el desarrollo social de las comunidades vecinas y la protección del medio ambiente.

Su casa matriz está ubicada en Londres (Reino Unido) y cuenta con más de 140 mil trabajadores, quienes se desempeñan en las diferentes operaciones que la compañía posee en 45 países alrededor del mundo.

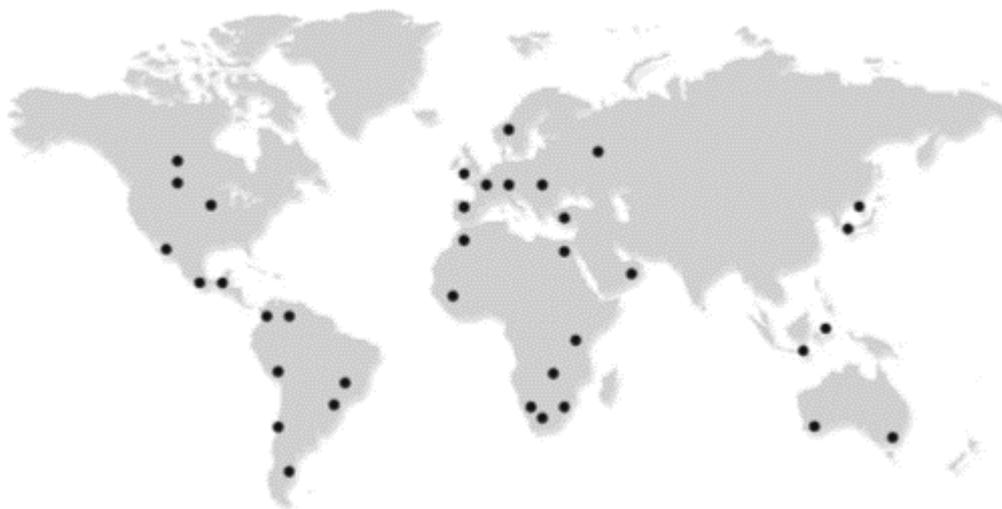


Ilustración 4: Países con operaciones mineras de Anglo American

La visión de la compañía queda plasmada en las siguientes palabras:

“Nuestra visión es lograr el “Cero Daño” mediante una gestión efectiva de la seguridad en todas las operaciones que administramos. Creemos que las personas son nuestro principal activo y no aceptamos que sufran accidentes o lesiones mientras trabajan para nosotros. Todos los trabajadores deben volver a casa sanos y salvos al final de la jornada.”

2.2. Anglo American en Chile

2.2.1. Reseña histórica

Anglo American comenzó sus operaciones en Chile en el año 1980, adquiriendo el 40% de Empresa Minera de Mantos Blancos S.A., la que explotaba el yacimiento del mismo nombre en la II Región. En 1984 se convirtió en el socio mayoritario.

Entre 1988 y 1992 se hizo efectiva la opción de compra por el yacimiento de Manto Verde, ubicado en la III Región, el cual pasó a formar parte de Empresa Minera de Mantos Blancos S.A.

En 1996, Anglo American adquirió 44% de la Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi, cuyo yacimiento se encuentra en la I Región.

En 2000 aumentó a 99,97% su participación en la propiedad de Empresa Minera de Mantos Blancos S.A., hoy Anglo American Norte S.A.

En 2002, adquirió la Compañía Minera Disputada de Las Condes, hoy Anglo American Sur S.A. integrando a sus operaciones las divisiones El Soldado, Chagres y Los Bronces.

A partir de 2004, la empresa ha puesto en práctica importantes proyectos tales como el Desarrollo Los Bronces, la optimización de Chagres y el rajo extendido de El Soldado.

En 2007 se aprobó e inició la construcción del Proyecto Desarrollo Los Bronces, el cual contempla una inversión de entre \$2.300 y \$2.400 millones de dólares y tiene como objetivo construir nuevas instalaciones de molienda, de transporte de mineral y de concentración de minerales para aumentar la capacidad de producción de la División a un promedio de 400.000 toneladas de cobre fino por año.

En 2009 se anuncia el descubrimiento de dos importantes yacimientos de cobre de alta calidad, San Enrique Monolito y Los Sulfatos, ambos ubicados cerca de Los Bronces. Estos cuerpos mineralizados, en conjunto, poseen recursos inferidos que alcanzan a 2.100 millones de toneladas de mineral lo que permitirá aumentar los recursos minerales de cobre de la compañía en un 50%.

2.2.2. La seguridad como principio fundamental

Anglo American y sus operaciones funcionan bajo un solo principio, el que se extiende a todos los ámbitos de las labores realizadas, este es “Producir con Seguridad”. Para cumplir con este lema existe una serie de normas conocidas como “Las reglas de oro”, las que deben estar arraigadas en cada trabajador de la empresa. Esas reglas son:

1. **Aspectos básicos de seguridad:** No realice una tarea a menos que esté entrenado, tenga los recursos y esté autorizado para hacerla.
2. **Operación de minas, canteras y acopios:** No ingrese a áreas restringidas a menos que tenga permiso. No ingrese a zonas no fortificadas. Maneje los explosivos y tronaduras de acuerdo a procedimiento.
3. **Espacios confinados:** Nunca ingrese a un espacio confinado sin seguir el procedimiento para espacios confinados de su faena.
4. **Trabajo en altura:** Siempre use equipo de protección contra caídas al trabajar en altura.
5. **Bloqueo de equipos y energía:** Asegúrese que todas las fuentes de energía hayan sido aisladas. Bloquee, señalice y pruebe.
6. **Vehículos de transporte:** Siempre siga las reglas de tránsito de su faena.
7. **Levante y manejo de carga:** Asegúrese que el equipo de levante es capaz de levantar la carga. Nunca permita que alguien esté bajo la zona de caída.
8. **Embalse de agua o líquidos:** Siempre utilice chaleco salvavidas y nunca trabaje solo dentro o cerca de un embalse.
9. **Productos químicos y sustancias peligrosas:** Asegúrese que sabe cómo manejar, almacenar y desechar cualquier producto químico o sustancia peligrosa.
10. **Metales calientes:** Solo ingrese o trabaje en áreas donde hay metal/escoria caliente si tiene los permisos necesarios.

2.2.3. Operaciones en Chile

En Chile, Anglo American cuenta con seis divisiones productivas en cuatro regiones del país y una oficina central en Santiago.



Ilustración 5: Ubicación de divisiones de Anglo American en Chile

La producción total en 2012 fue de 659.700 toneladas de cobre fino, 1.840 toneladas de molibdeno y 461.400 toneladas de ácido sulfúrico.

A continuación, se realiza un breve detalle de las operaciones actuales en el país.

Collahuasi	Ubicación : Región de Tarapacá, a 4.400 msnm Método explotación : Rajo abierto Producción 2013 : 444.500 ton de cobre Propiedad Anglo : 44%
Mantos Blancos	Ubicación : Región de Antofagasta, a 800 msnm Método explotación : Rajo abierto Producción 2013 : 54.600 ton de cobre Propiedad Anglo : 99,99%
Mantoverde	Ubicación : Región de Atacama, a 900 msnm Método explotación : Rajo abierto Producción 2013 : 56.800 ton de cobre Propiedad Anglo : 99,99%
El Soldado	Ubicación : Región de Valparaíso, a 600 msnm Método explotación : Rajo abierto Producción 2013 : 51.500 ton de cobre Propiedad Anglo : 50,10%
Chagres	Ubicación : Región de Valparaíso Tipo de operación : Fundición Producción 2013 : 145.200 ton de ánodos de cobre y 503.000 ton de ácido sulfúrico Propiedad Anglo : 50,10%
Los Bronces	Ubicación : Región metropolitana, a 3.500 msns Método explotación : Rajo abierto Producción 2013 : 416.300 ton de cobre Propiedad Anglo : 50,10%

Tabla 1: Descripción general de faenas de Anglo American en Chile

3. ANTECEDENTES DE OPERACIÓN EL SOLDADO

3.1. Ubicación

El Soldado se ubica en la comuna de Nogales, Región de Valparaíso, a 120 [km] de la ciudad de Santiago en dirección NW y a 30 [km] del límite costero. El yacimiento se emplaza en la cordillera de la costa, con una altitud que varía entre los 500 y 1.300 msnm.



Ilustración 6: Mapa de ubicación de mina El Soldado

3.2. Geología del yacimiento

El yacimiento de El Soldado es un depósito estrato – ligado, donde la mineralización es fuertemente controlada por factores estructurales como fallas e intersecciones de ellas, generando zonas favorables para la ocurrencia de mineralización.

La mena primaria está compuesta de calcopirita, bornita, calcosina y menores concentraciones de covelina, y su ocurrencia es en vetillas y en diseminación. Por otro lado, los minerales de ganga más comunes son la piritita, hematita, calcita, clorita, albita, sílice y menores cantidades de magnetita, esfalerita y galena con rara presencia de arsenopirita.

El depósito consiste en agrupaciones de numerosos cuerpos mineralizados aislados entre sí, separados por zonas estériles. Esta situación hace bastante compleja la selección de los polígonos de extracción pues para que el polígono sea operativo, en la mayor cantidad de los casos, se extraerá estéril en conjunto con el mineral de interés.

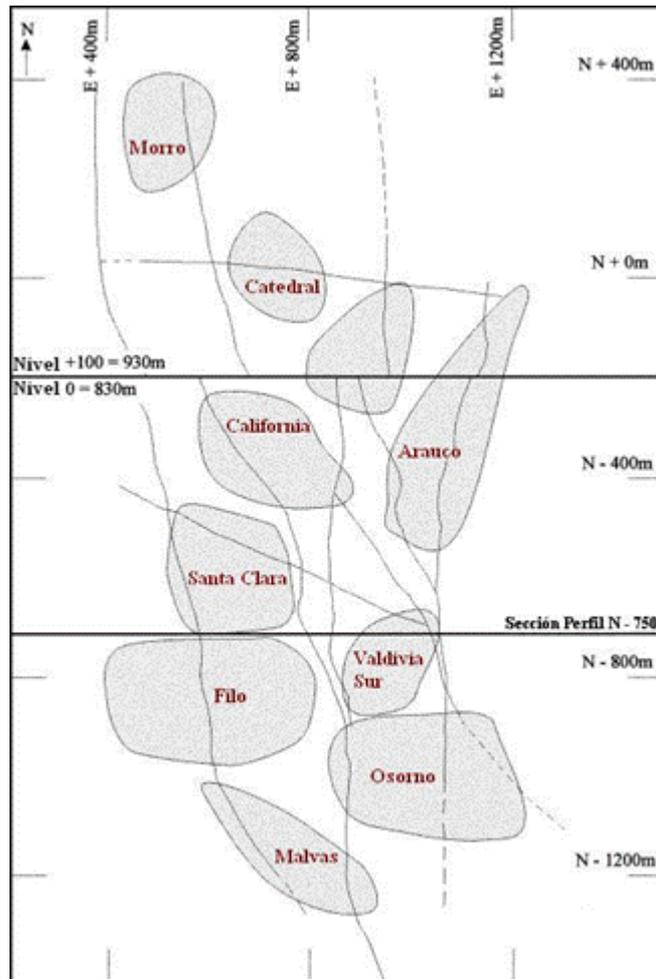


Ilustración 7: Agrupaciones de cuerpos mineralizados en mina El Soldado – Vista en planta

3.3. Proceso productivo

El Soldado opera bajo la metodología de explotación a rajo abierto convencional, manteniendo en la actualidad tres fases en operación (Fase 2, 3 & 4), ubicadas en el sector Filo (Ver Ilustración 8 e Ilustración 9), estas deben interactuar con sectores hundidos y rellenos producto de la antigua explotación subterránea de División El Soldado.

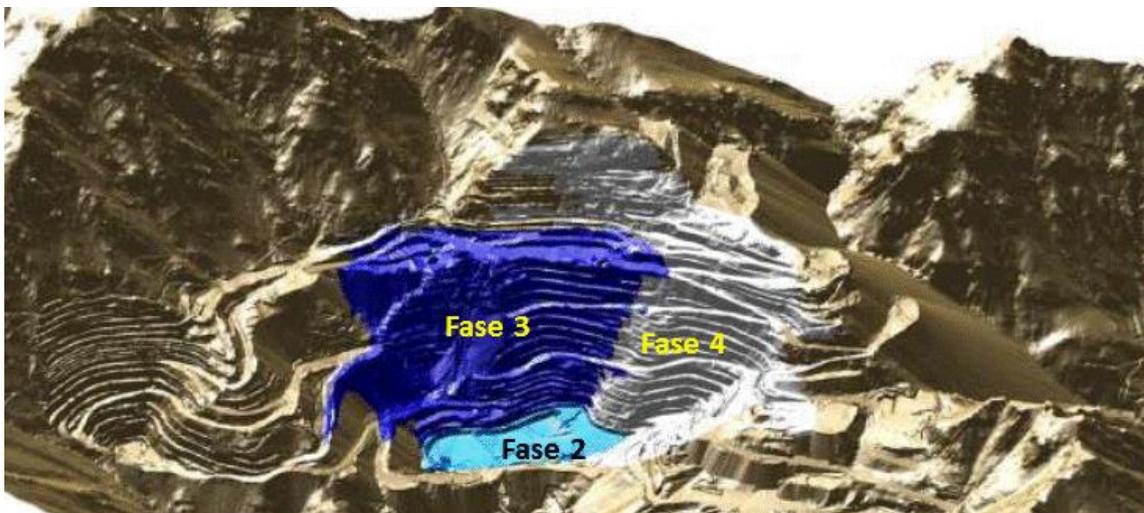


Ilustración 8: Fases operativas de mina El Soldado

Con una capacidad de movimiento total de roca de 70 Mt por año, la mina alimenta con minerales sulfurados de cobre y en pequeña escala óxidos de cobre las dos plantas de proceso que posee. La planta de procesos de sulfuros de cobre tiene límite de tratamiento de 8.1 Mt por año y es capaz de entregar, en promedio, alrededor de 59.000t de cobre fino, mientras que la planta de proceso de óxidos de cobre tiene un límite de tratamiento de 600.000t por año, entregando 8.000t de Cobre fino aproximadamente.



Ilustración 9: Operación El Soldado

El proceso productivo de operación El Soldado comienza con la extracción del material tronado, proveniente de la mina, mediante el uso de palas y/o cargadores frontales.

Según la ley que tenga el material, existirán los siguientes destinos:

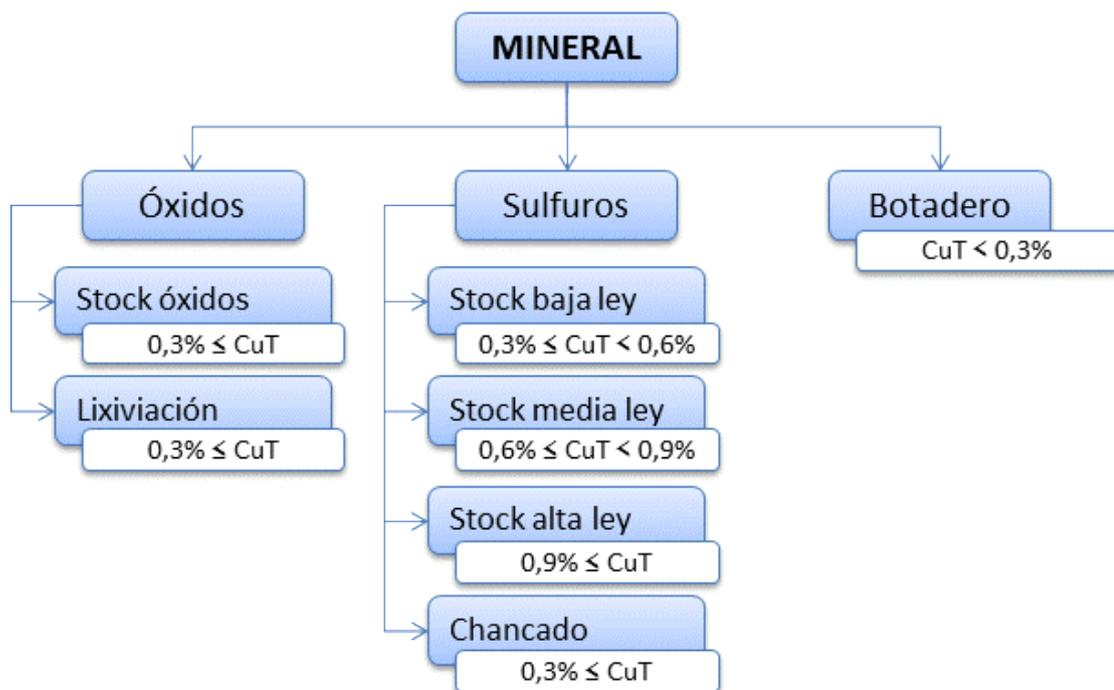


Ilustración 10: Destinos del mineral proveniente de la mina

El destino será fijado por los parámetros de trabajo de la planta de procesamiento y lixiviación, además de las capacidades de las mismas. Así, una vez copadas estas capacidades, el mineral será enviado a los stocks correspondientes.

Dependiendo del tipo de mineral extraído será la línea de tratamiento que seguirá. Así, se tendrán dos líneas productivas, una para óxidos y otra para sulfuros.

3.3.1. Óxidos de cobre

La planta de óxido tiene una capacidad de tratamiento de 600 Kt por año para mineral fresco con una capacidad de producción de cátodos de 8 Kt de 99.992 % de Cobre.

Los óxidos pasan por un proceso de chancado, donde se reduce el tamaño del mineral extraído de la mina, y luego son acumulados en pilas las que son tratadas con soluciones de ácido sulfúrico para facilitar las reacciones químicas durante la lixiviación y así aglomerar las partículas más finas de cobre.

Luego, durante el proceso de lixiviación, estas pilas aglomeradas son regadas con una solución de ácido sulfúrico y agua, produciendo una solución de sulfato de cobre que es recolectada, refinada y concentrada para su tratamiento posterior. Mediante una extracción por solvente (SX), el cobre es removido selectivamente de la solución y se recupera por medio de una electrolisis en un proceso de electro-obtención (EW) para finalmente producir cátodos electro-refinados de cobre de alta pureza (99,99% de Cu), es decir, placas listas para su comercialización.

Se proyecta que la vida de la planta de óxidos no superará el año 2016, sin embargo, se encuentra en estudio su permanencia mediante refinación de óxidos de Chagres o compra de minerales de terceros.

3.3.2. Sulfuros de cobre

La planta concentradora tiene una capacidad de tratamiento de 8.1 Mt por año, entregando un promedio de 59 Kt de cobre fino.

El procesamiento de Sulfuros cuenta con un chancador primario que alimenta dos procesos: molienda SAG y convencional. El mineral molido es enviado a una etapa de flotación rougher para recuperar el máximo de cobre. El concentrado producido en esta etapa es enviado a una etapa de remolienda para producir una nueva liberación de las partículas y luego a una etapa de limpieza para obtener un producto con una ley de concentrado de 28% a 30%. Los relaves producidos en la etapa de limpieza son retratados en un circuito de agotamiento, donde el concentrado es enviado a remolienda para su posterior limpieza. Los relaves rougher y scavenger constituyen el relave de sulfuros de la planta y son impulsados hasta la planta de flotación de arenas para su clasificación. Las lamas se retornan al sistema de transporte de relave y las arenas son reprocesadas en el circuito de flotación de arenas. En esta planta el mineral pasa por etapas de flotación rougher, remolienda y limpieza, en donde el relave de esta etapa se junta con las lamas clasificadas formando el relave final del proceso, el cual se envía al tranque El Torito para disposición final y recuperación del agua. Los concentrados, tanto de la planta de sulfuros y de arenas se juntan para ser espesados y filtrados, y finalmente son enviados a la Fundición Chagres para la elaboración de ánodos de cobre.

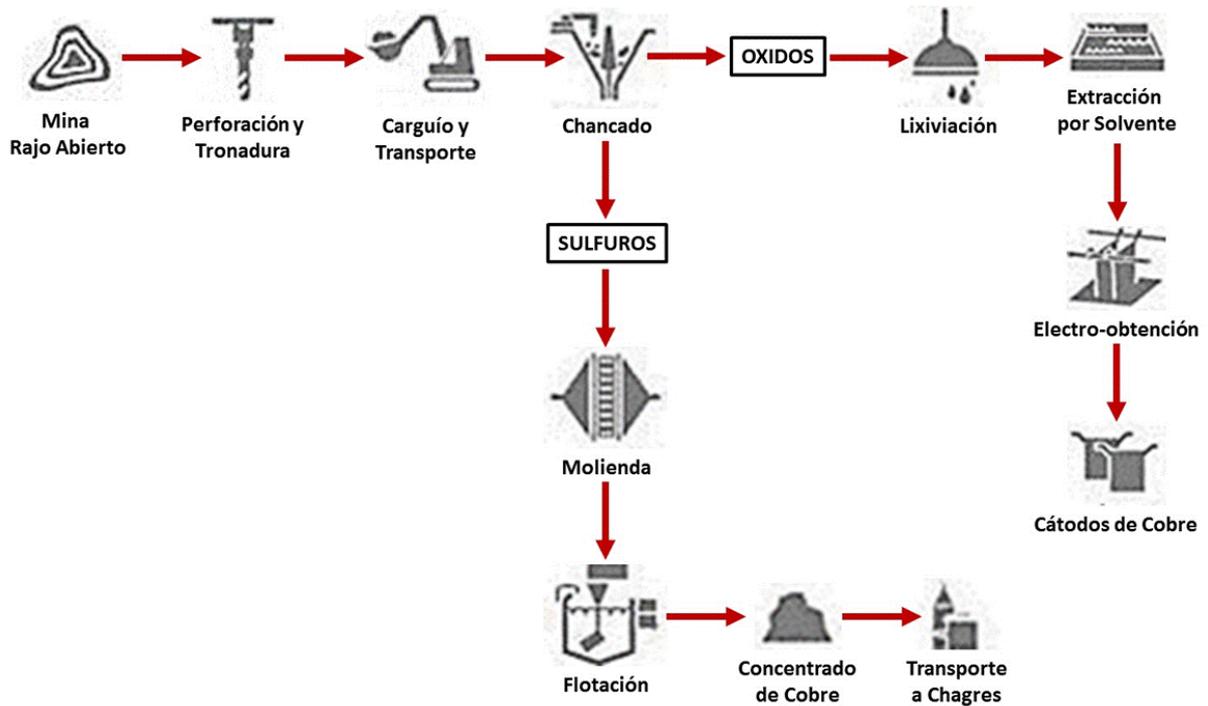


Ilustración 11: Proceso productivo de mina El Soldado

3.4. Operaciones unitarias y flota de equipos mina

La operación del rajo abierto comprende las operaciones unitarias de desarrollo, perforación, tronadura, carguío, transporte y actividades de apoyo a la operación.

3.4.1. Desarrollo

Para iniciar la minería de rajo abierto es necesario construir caminos de acceso para preparar los sectores a explotar mediante el uso de maquinaria minera como excavadoras hidráulicas y tractores de oruga, generando áreas de trabajos que se denominan “bancos”. En la etapa de diseño para la construcción de caminos se prioriza la aplicación de técnicas de corte y relleno con el mismo material excavado, para minimizar la generación de material estéril a ser depositado en los botaderos.

3.4.2. Perforación y Tronadura (P&T)

Para lograr el arranque de la roca in-situ, es necesario realizar perforaciones (tiros o pozos) de distintas profundidades en un esquema geométrico previamente calculado de acuerdo a las características de la roca (llamado “diagrama de tronadura o diagrama de disparo”). Al interior de estas perforaciones se depositará el explosivo con el fin de realizar tronaduras que fracturen la roca a tamaños apropiados a los equipos de carguío y transporte. Para la realización de la perforación se utiliza maquinaria especializada para diferentes diámetros de perforación dependiendo de los objetivos de la tronadura.

Actualmente la flota de equipos de perforación y tronadura consta de:

Equipo	Fabricante	Modelo	Diámetro de perforación	Cantidad de equipos	Disponibilidad [%]	Uso [%]
Producción	Atlas Copco	DMM3	10 5/8"	2	71,4	67,3
Producción	Atlas Copco	PV 271	9 7/8"	1	88,8	56,7
Producción	Sandvik	D 75 KS	9 7/8"	3	77,2	63,2
Precorte	Atlas Copco	DM50	6 1/2"	1	92,3	41,4
Precorte	Sandvik	DI600	6 1/2"	2	91,4	13,1

Tabla 2: Flota de equipos de perforación

Para el carguío de explosivos en los tiros se utilizan camiones fábrica, que fabrican el explosivo en el mismo instante en que se deposita en el tiro. Actualmente esta actividad se realiza con proveedores externos especialistas en esta operación unitaria.

3.4.3. Carguío y Transporte (C&T)

El material quebrado por la tronadura es cargado con cargadores frontales sobre camiones mineros los que, dependiendo de la clasificación del material, lo transportan a chancado, a stock o a botaderos.

La flota actual de maquinaria de carguío es la siguiente:

Equipo	Fabricante	Modelo	Rendimiento [TPH]	Capacidad Balde	Cantidad Equipos	Disponibilidad [%]	Uso [%]
Pala Frontal	Komatsu	PC 5500	2310	37 yd ³	2	81,3	69,8
Pala Excavadora	Komatsu	PC 5500	2310	37 yd ³	3	81,3	69,8
Pala Frontal	Komatsu	PC 8000	3035	55 yd ³	1	63,7	50,5
Cargador Frontal	Le Torneau	1850	1250	31 yd ³	2	22,4	67,2
Cargador Frontal	Caterpillar	994	1800	23 yd ³	3	71,5	52,3

Tabla 3: Flota de equipos de carguío

En tanto, la flota de equipos de transporte vienen dada por:

Equipo	Fabricante	Modelo	Rendimiento	Capacidad de Tolva	Cantidad de equipos	Disponibilidad [%]	Uso [%]
Camión	Komatsu	830 E	496 TPH	240 ton	14	88	61,5
Camión	Komatsu	830 AC	496 TPH	240 ton	16	88	61,5

Tabla 4: Flota de equipos de transporte

3.4.4. Servicios de apoyo a la operación

Existe una flota de maquinaria para apoyar los trabajos mineros, empleada para mantener habilitados y en buenas condiciones de seguridad y operación los frentes de carguío, puntos de vaciado y caminos en el rajo.

La flota de servicios está conformada, básicamente, por:

Equipo	Cantidad de equipos	Disponibilidad [%]	Uso [%]
Bulldozer	6	74	59
Whelldozer	4	80	65
Cargador menor	5	80	60
Pica roca	4	75	40
Motoniveladora	3	80	65
Aljibes	3	80	62
Retroexcavadora	1	80	30

Tabla 5: Flota de equipos de servicios y estándar

3.5. Diseño minero

Los parámetros de diseño definidos por El Soldado se resumen en la tabla siguiente,

Parámetros	Valor
Ancho mínimo de fases	100 m
Altura de bancos	15 m
Bancos dobles	30 m
Ancho de rampa	30 m
Ángulo cara banco	90°
Ángulo interrampa	Sectorizado

Tabla 6: Parámetros de diseño minero

El diseño del rajo considera altura variable del banco acorde al sector que se está explotando:

- Banco Doble de 30m hasta la cota 1040 msnm.
- Banco Simple de 15m desde la cota 1040 msnm hacia abajo.

Los parámetros geotécnicos operacionales que se deben utilizar en el diseño de fases son:

Diseño mina	Unidad	Fases 2,3 y 4	Cavidades rellenas
Ángulo interrampa	°	55	38
Ángulo cara banco	°	90	38
Ancho de rampa	m	30	32
Pendiente rampa	%	10	10
Altura banco	m	15/30	15

Tabla 7: Parámetros geotécnicos operacionales

Las mallas de perforación en el rajo son normalmente de 7m x 8m (burden x espaciamento), aunque ocasionalmente se usa mallas ampliadas de 8x9 y 9x10, pudiendo ser mallas cuadradas o trabadas.

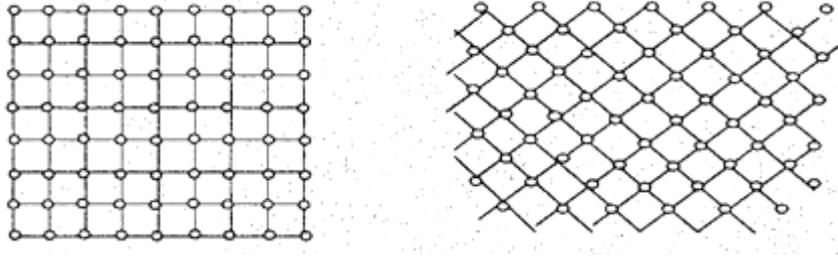


Ilustración 12: Malla cuadrada (izquierda) ; Malla trabada (derecha)

3.6. Estándares operacionales mina

3.6.1. Frente de carguío

3.6.1.1. Dimensiones de equipos de carguío y transporte

Las dimensiones mínimas de las frentes de carguío dependen de las dimensiones de los equipos de carguío y transporte.

Parámetros	Cargador L1850	Cargador CAT 994	Pala PC5500	Pala PC8000	Camión K-830
Ancho	6.040	5.265	7.990	8.730	7.320
Ancho Pala/Tolva	6.400	5.636	4.570	5.375	7.320
Largo	17.830	16.948	11.262	12.760	14.150
Alto	6.680	6.600	8.610	8.950	6.880
Altura Pala /Tolva levantada	9.250	10.816	19.500	20.900	13.410

Tabla 8: Dimensiones equipos de C&T [mm]

3.6.1.2. Dimensiones mínimas

En una frente de carguío debe haber espacio suficiente para la operación y maniobras del equipo de carguío y del camión. A esto se agregan las dimensiones del camellón y el desplome de borde.

Para el cálculo de las dimensiones mínimas se supone que el camión se estaciona en un ángulo de 45° de la frente y que el equipo de carguío y extrae de frente y carga derecho sobre el camión, tal como se muestra en la figura siguiente.



Ilustración 13: Ubicación de cargador y camión en frente de ancho mínimo

Las dimensiones mínimas de la frente para equipos de carguío existentes en el Rajo son las que se indican a continuación:

Parámetros	Dimensiones en metros		
	CARGADOR CAT 994	CARGADOR L-1850	Pala Komatsu PC-5500
Largo cargador	17	15	16
Ancho camión Komatsu 830	8	8	8
Ancho cargador	6	6	8
Desplome de cresta	2	2	2
Ancho camellón de seguridad	6	6	6
Ancho total frente de carguío	38	36	39
Ancho de diseño	42	40	42

Tabla 9: Ancho mínimo de frente de carguío

3.6.1.3. Frentes Operacionales

Las dimensiones de las frentes operacionales deben permitir la máxima productividad del equipo de carguío y espacio suficiente para el estacionamiento del camión en 45 ° y espera de otros camiones.

La extracción de saca se hace en dos modalidades: de frente al montón o paralelo al montón, siendo esta última la más productiva para cargadores, como se muestra en la Ilustración 14 e Ilustración 15.

Las dimensiones operacionales deben ser mayores a 2 veces las dimensiones mínimas de la frente.

La extracción de saca, en el caso de la pala hidráulica, se hace en modalidad simple, con pala hidráulica y camión posicionados en forma perpendicular al frente de carguío como se muestra en la Ilustración 16.

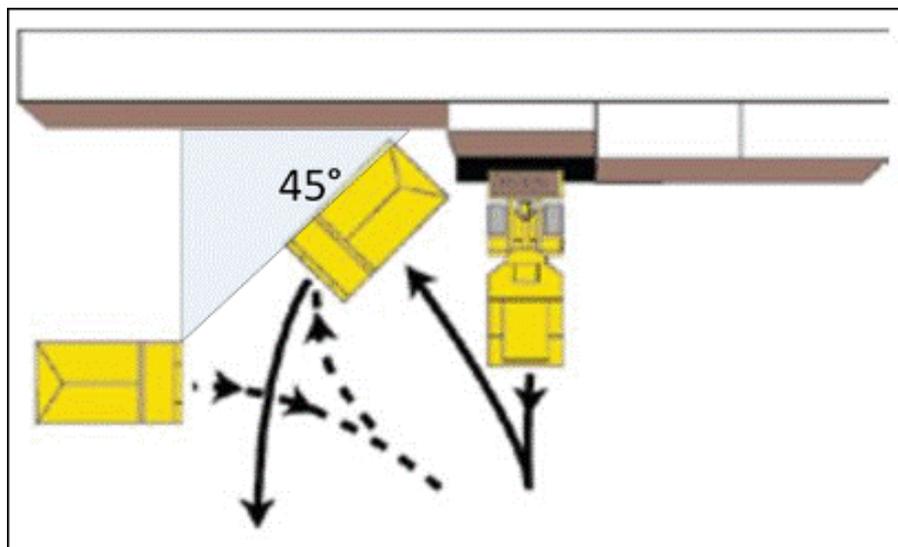


Ilustración 14: Carguío de camiones, cargador de frente al montón de saca

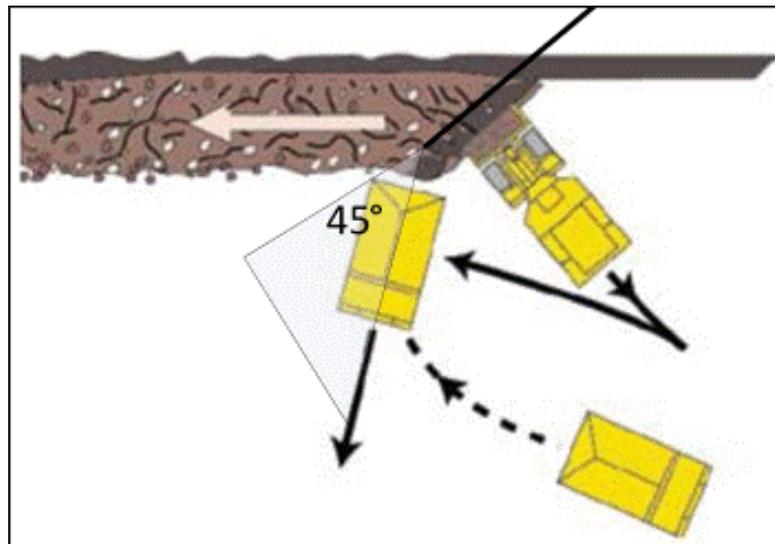


Ilustración 15: Carguío de camiones, cargador perpendicular al montón de saca

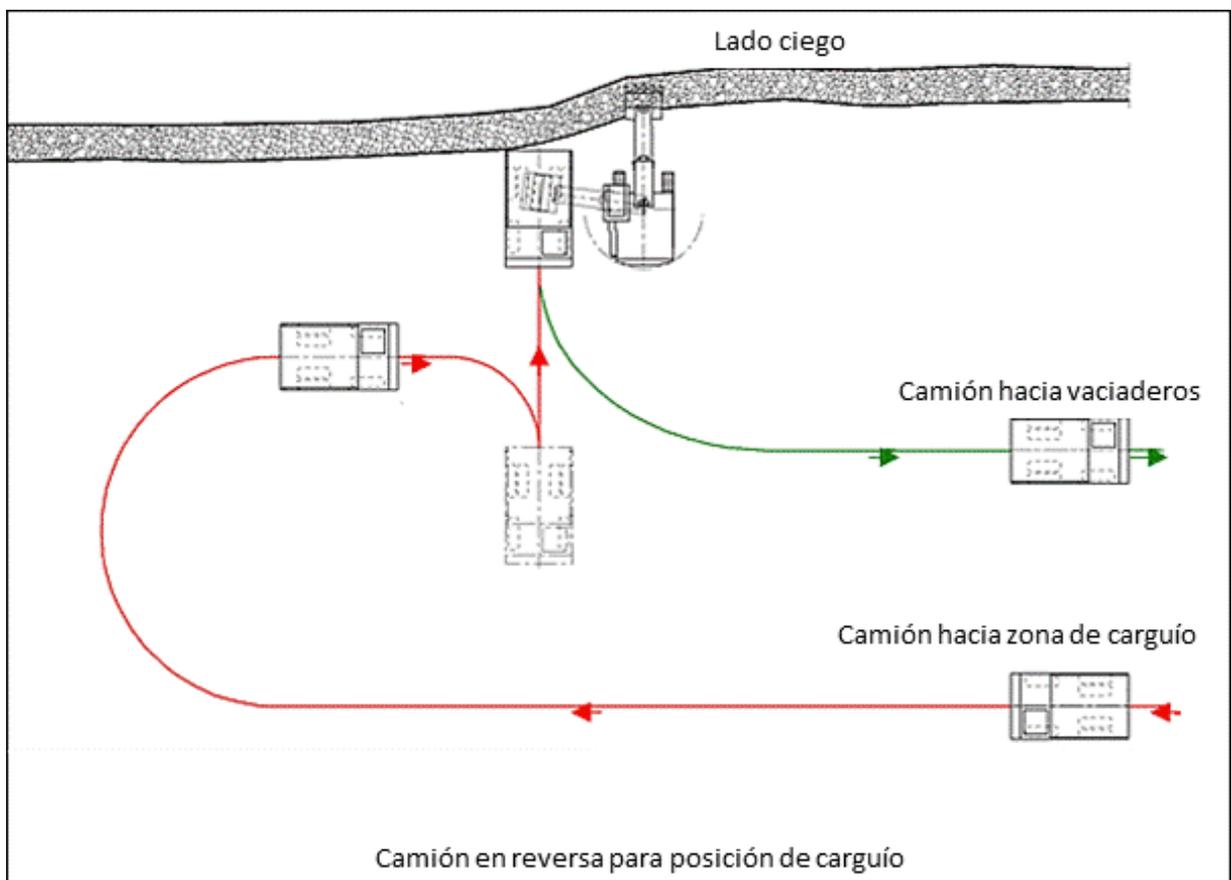


Ilustración 16: Carguío de camiones con Pala Hidráulica

3.6.1.4. Frente de carguío para carga por dos costados de la pala

El carguío doble de camiones genera un uso óptimo de palas y camiones, pues este proceso da continuidad al carguío, ya que reduce los tiempos de cola y como consecuencia aumenta la productividad.

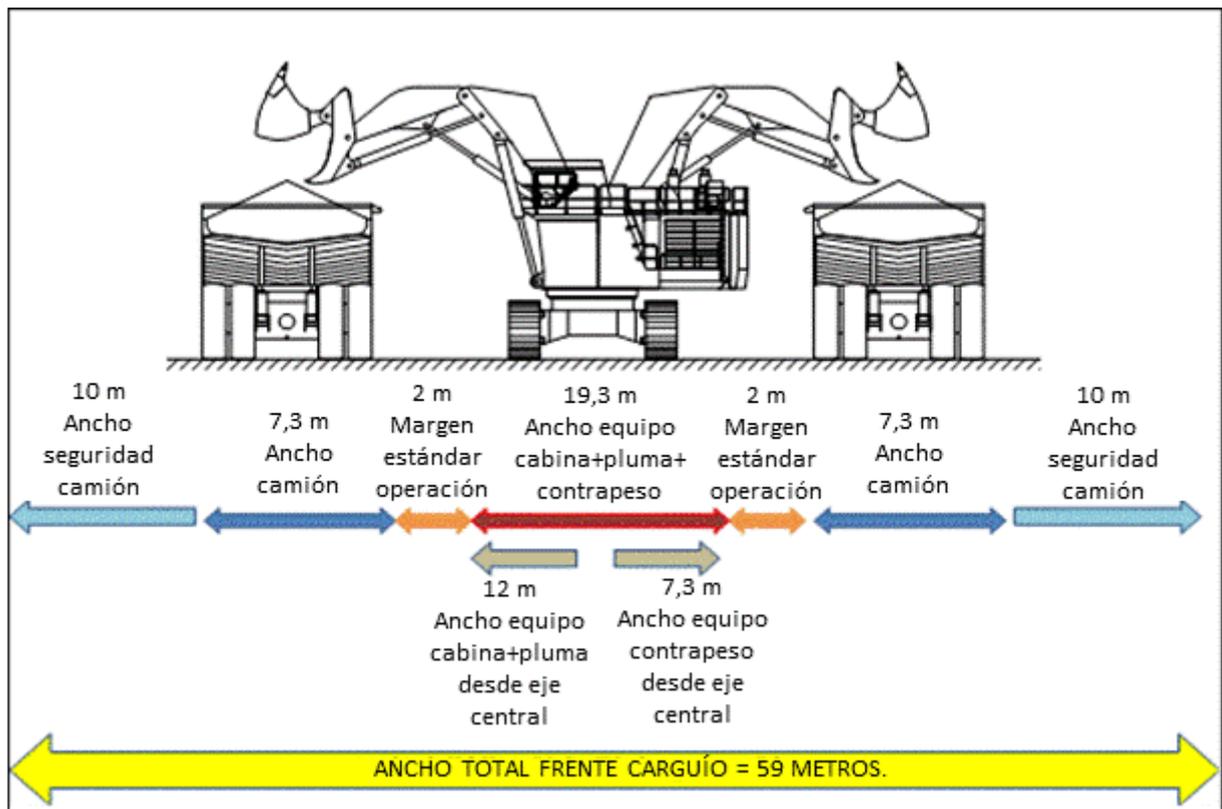


Ilustración 17: Dimensiones Frente de Carguío para carga Doble de Pala

3.6.2. Piso de bancos

Los pisos de los bancos se mantendrán nivelados, evitando que haya “callos” u “hoyos”. La tolerancia respecto a la cota de diseño del banco será de 50 cm.

Las bermas finales deberán quedar, en lo posible, a la cota de diseño, con una tolerancia de más o menos 30 cm.

3.6.3. Caminos mineros

3.6.3.1. Trazado de caminos

El trazado horizontal o vertical debe permitir en todos los casos que la distancia de visión periférica del operador sea mayor que la distancia de detención del camión.

➤ **Pendiente**

Se define que los caminos tendrán una pendiente máxima de 10%.

➤ **Peralte y pendiente de bombeo**

El peralte es la sobreelevación entre borde externo de una curva y el borde interno y tiene como objetivo compensar la fuerza centrífuga para que el vehículo vire naturalmente. En la operación El Soldado, el peralte tiene un valor que oscila entre 4% y 6,5%.

La pendiente de bombeo permite el drenaje de la pista hacia las cunetas del camino. La pendiente máxima recomendada es de 4 %.

➤ Intersecciones

Las intersecciones, o cruces, se construyen de manera que permitan la visibilidad en y hacia los 4 cuadrantes de la intersección. La distancia a la que el operador ve un obstáculo debe ser menor que la distancia de frenado del camión a la velocidad que se aproxima el cruce (70 metros aproximadamente).

Cuando estas condiciones no se cumplen, debe instalarse señalización para regular el uso de la intersección (PARE o CEDA EL PASO) o semáforos.

Para intersecciones en caminos de alto tránsito se utilizan rotondas.

3.6.3.2. Ancho de caminos

El ancho de los caminos se determina a partir del ancho del camión de mayor tamaño, el diámetro del neumático de este camión y el espacio necesario para una cuneta.

La plataforma del camino está formada por la pista de circulación, el camellón de seguridad y la cuneta de conducción de aguas lluvia. Además, se considera pérdida de plataforma en el borde a causa del sobre-quebre de la tronadura, llamado desplome de borde.

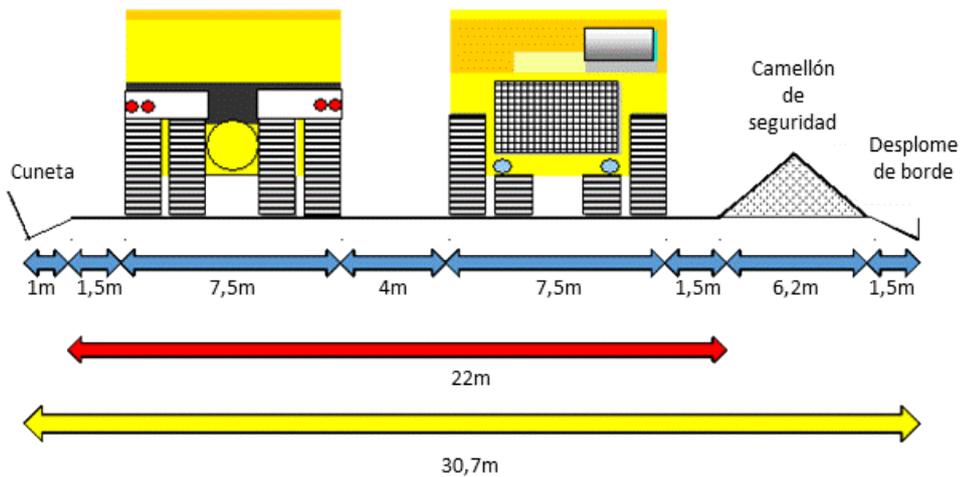


Ilustración 18: Ancho de camino de 2 pistas sin camellón central

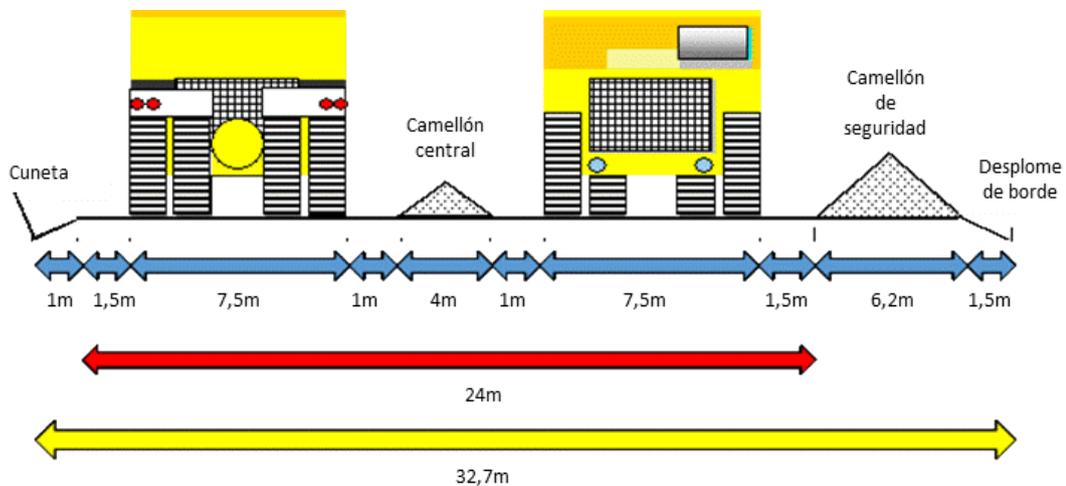


Ilustración 19: Ancho de camino de 2 pistas con camellón central

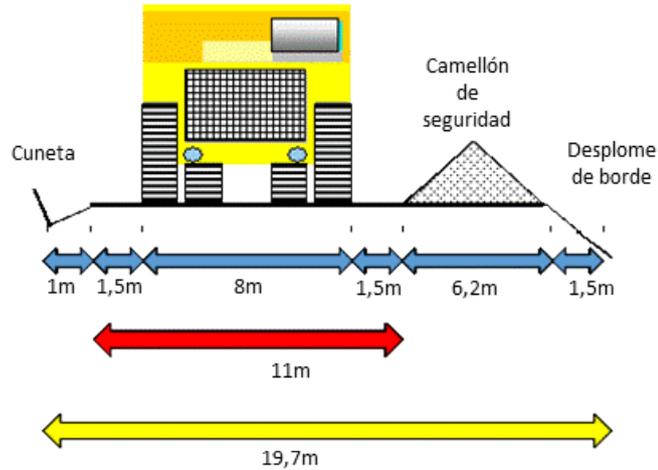


Ilustración 20: Ancho de camino de 1 pista

3.6.3.3. Obras de seguridad en caminos

➤ Camellón de seguridad

El camellón de seguridad se usa en sectores de caminos donde un vehículo puede accidentalmente desbarrancarse. El camellón se diseña para redireccionar un vehículo hacia el camino o, por las características de los equipos mineros, para detener completamente un vehículo en la berma.

La construcción de camellón de seguridad debe seguir los siguientes estándares:

- Forma triangular o trapezoidal
- Altura mayor que el radio de giro de la rueda del camión de mayor tamaño. Para el caso de El Soldado, se diseña el camellón de seguridad con una altura de $2/3$ diámetro del neumático del camión komatsu 830E = 2,4 metros.
- Material no consolidado y relativamente homogéneo con ángulo de reposo de 38°
- Ancho berma de seguridad = $(2,4 \text{ m}/\text{tg } 38^\circ) \times 2 = 6,15 \text{ m}$

El camellón de seguridad puede reemplazarse con otros elementos estructurales que reducen la necesidad de espacio horizontal, como bolones o estructuras de hormigón prefabricado. En estos casos se recomienda que la altura de la estructura sea igual al diámetro del neumático del camión de mayor tamaño, soportado por camellón de saca en el borde externo.

➤ Camellón central

El camellón central puede usarse para:

- Separar pistas en las entradas-salidas de bancos en explotación
- Separar pistas en las curvas cerradas
- Separar pistas en trazados rectos, de poca pendiente y con espacio suficiente para aumentar la velocidad de transporte
- Contener camión ante emergencia

La construcción de camellón central debe seguir los siguientes estándares:

- Forma triangular o trapezoidal
- Altura = 1,6 metros
- Material no consolidado y relativamente homogéneo, ángulo de reposo de 38°
- Ancho berma de seguridad = $(1,6 \text{ m}/\text{tg } 38^\circ) \times 2 = 4 \text{ m}$

➤ **Cruce de camiones en pista de una vía**

En los casos en que la pista se reduzca a una vía, deben considerarse zonas de cruces espaciadas como máximo en 200 metros.

➤ **Obras de detención de emergencia**

Considerando las características topográficas del rajo, es necesario considerar obras para detener vehículos sin control. Estas obras pueden ser: salida de emergencia o camellón central de detención.

4. MARCO TEÓRICO

A continuación se analizarán los conceptos claves para la adecuada interpretación y entendimiento del proyecto.

4.1. Ley de corte

Según Vásquez, Galdames y Le Feaux [1] la ley de corte corresponde a la ley de un elemento que hace nulo el beneficio económico de extraer y procesar un bloque del modelo.

Cualquier bloque que se encuentre sobre esta ley de corte genera un beneficio positivo, denominándose *Mineral*, mientras que cualquier bloque con una ley inferior a la ley de corte generará pérdidas, conociéndose como *Estéril*.

La ecuación que permite determinar la ley de corte se muestra a continuación:

$$\text{Ley de Corte Crítica} = \frac{(\text{Costos Categoría I} + \text{Costos Categoría II})}{\text{Recuperación Global} \times (\text{Precio} - \text{Costos Categoría III})} \times 100$$

Dónde:

- **Costos de Categoría I:** Corresponden a los costos de material movido relacionados con la extracción del mineral, es decir los costos Mina, que incluyen los siguientes procesos:
 - **Costos Directos:** Perforación, tronadura, carguío, transporte, servicios de apoyo mina y administración.
 - **Costos Indirectos:** Depreciación de equipos.
- **Costos de Categoría II:** Corresponden a los relacionados con el proceso de planta del mineral (concentración y/o lixiviación etc.), además se incluyen costos administrativos, depreciaciones de equipos, etc.
- **Costos de Categoría III:** Corresponden a los costos relacionados con la venta del producto (fundición y refinación), en el cual se incluyen el transporte, seguros, créditos, penalizaciones por impurezas, etc.
- **Recuperación Global:** Corresponde al porcentaje de cobre fino recuperado de todos los procesos involucrados (Mina, planta y fundición).

De esta forma, es fácil observar que la ley de corte es variable en el tiempo debido a la sensibilidad que presenta frente a cambio en los factores anteriormente señalados. Además, existen otros parámetros que pueden modificarla, entre los que podemos destacar:

➤ Capacidad de planta ociosa o colmada

Un aspecto fundamental dentro de la operación minera, es mantener siempre en régimen la producción de la planta concentradora. Cuando por problemas de diversa naturaleza esto no ocurre, se puede recurrir a bajar la ley de corte con el objetivo de que sectores considerados estéril pasen a ser mineral, de forma que este nuevo mineral pueda ser enviado a planta y completar la capacidad de producción. En este mismo sentido Vásquez, Galdames y Le Feaux [1] plantean que en muchas ocasiones es más rentable pasar menor ley por la planta, que dejar la planta ociosa, siempre y cuando, se justifique económicamente dicha acción.

Por otra parte, si el escenario es opuesto al anterior y se aumenta la ley de corte, se generarán mayores beneficios, pudiendo compensar así las pérdidas provocadas por una planta ociosa.

➤ Existencia de múltiples procesos

La presencia de stocks permite flexibilizar el proceso, donde se puede destacar:

- La realización de mezclas de material de forma de diluir altas leyes que la planta no es capaz de tratar, y que se transformarán en pérdidas de finos en el relave (“aplanar perfil de leyes”).
- Generar porcentajes de humedades requeridos para procesos de lixiviación.
- Dilución de contaminantes.

4.2. Selectividad minera

Según Peña [7] la selectividad minera corresponde al proceso de separación del mineral con respecto del estéril. Esta se ve afectada por tres variables que se consideran en los siguientes puntos.

4.2.1. Efecto soporte

El diseño y la planificación de una explotación minera están dados por el modelo de bloques, el que es una representación del depósito mineral. De esta forma, el volumen que encierra un bloque corresponde a un material heterogéneo, con diversidad de leyes, donde solo se conoce la ley media. Por ello es muy posible que un bloque considerado como mineral tenga un porcentaje de estéril asociado y viceversa.

Emery y Ortiz [13] señalan que mientras más pequeño el bloque mayor será la selectividad, entendiéndose que finalmente existirán mejores recuperaciones del metal. Sin embargo, el costo de operación se ve incrementado por el uso de equipos de carguío más pequeños, los que poseen menores índices de productividad, y de una malla de perforación más densa que permita general esta selectividad.

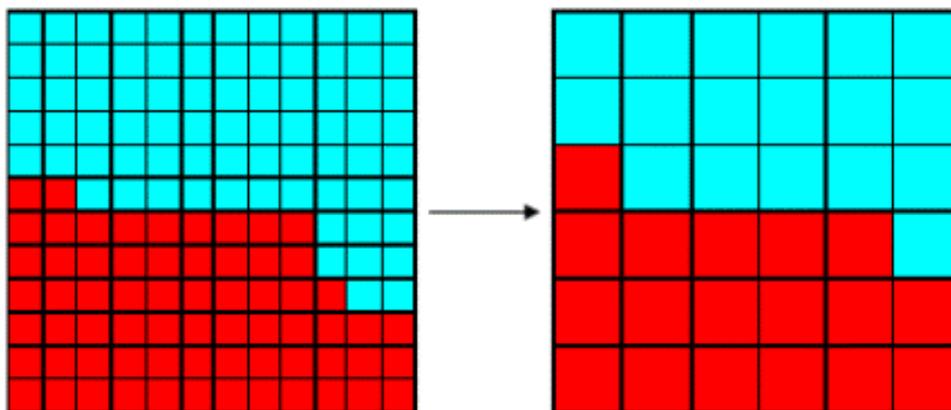


Ilustración 21: Efecto soporte

La Ilustración 21 ejemplifica el problema que se produce: a bloques de mayor tamaño existe aumento de tonelaje lo que implica una reducción de la ley. Ello se explica en que al rebloquear a soportes mayores se incluye estéril en bloques de mineral, y viceversa.

4.2.2. Efecto de la información

El diseño y planificación de la explotación minera se encuentran basados en un modelo de valores estimados y no en de valores reales. Así, es inevitable que ciertos bloques con beneficio económico

sean subestimados y enviados a botaderos, como que bloques sin beneficio económico sean enviados a planta.

En la planificación de largo plazo se desconoce la distribución de leyes de una grilla de pozos de tronadura, que es con lo que finalmente se tomará la decisión respecto de qué será considerado estéril y/o mineral.

La técnica utilizada por algunas faenas en el mediano y largo plazo, es la realización de una estimación por kriging, mediante la información aportada por los sondajes que interceptan la cota del banco que se desea analizar. El problema de lo anterior es el efecto de suavizamiento en las estimaciones, provocado por el kriging, de forma que la calificación de mineral y estéril no será la más adecuada.

Otra técnica es el muestreo anticipado, el cual de alguna forma permite ajustar qué material debe irse a planta y cuál debe irse a botadero. Esta metodología es sumamente efectiva, pero lamentablemente sólo permite en el muy corto plazo (1 semana), ajustar la definición del material estéril respecto al mineral, de forma que el movimiento de equipos, cables para las palas y otros aspectos de la planificación de corto plazo, se ven muy limitados en tiempo.

Todo lo anterior define el concepto de efecto de información, o valor de la información, lo que puede resumirse en que el método utilizado para estimar las leyes del modelo de bloques determinará fuertemente las consecuencias operacionales de la faena minera.

4.2.3. Dilución minera

Se define comúnmente como dilución a la mezcla de mineral con estéril, mediante la cual se lleva bien a procesar un material que no tiene el valor económico previsto, o bien se arroja a la escombrera mineral, con la consiguiente pérdida de aprovechamiento de las reservas [3]. Con esto, se consigue disminuir la calidad del mineral en términos de la cantidad efectivamente extraída y/o bajando las leyes del mismo.

Se encuentra fuertemente asociada al nivel de selectividad que posea el equipo de carguío para definir el contacto estéril/mineral [6].

En realidad, la dilución no significa solamente bajar la ley del mineral, sino que también hay asociado un aumento en los costos, ya que el envío de una tonelada de estéril a la planta es más costoso que el envío de una tonelada de mineral.

4.2.3.1. Dilución planificada

Es el estéril que se incorpora a los planes de producción, pues de otra forma sería imposible extraer el mineral adyacente.

En este punto tenemos:

➤ Modelamiento geológico

El modelamiento geológico es una interpretación de la posición espacial y la forma que poseen los cuerpos minerales en el yacimiento.

Los modelos geológicos contienen información relativa a litología, alteración y mineralización. Con ello, es posible diferenciar los contactos entre unidades geológicas (estéril y mineral), de manera de analizar datos correspondientes a una población y no a una mezcla de ellas.

En este sentido Srivastava [16] señala que el no considerar el modelo geológico resulta en la mayoría de los casos una mala decisión, ya que las estimaciones de recursos dependen de decisiones

apropiadas sobre las distintas poblaciones relevantes desde el punto de vista geológico y estadístico. En muchos casos la mineralización se encuentra asociada a ciertas unidades geológicas, por lo cual resulta clave para poder entender el proceso de mineralización y cómo definir la evaluación de recursos.

Uno de los problemas del modelamiento geológico es la arbitrariedad que posee, debido a que con datos en general de sondajes, deben formarse modelos complejos de las estructuras y mineralizaciones presentes en un depósito. En este mismo sentido, a medida que avanza el desarrollo de un proyecto, también aumenta la información disponible: en el largo plazo la información disponible para el diseño y modelamiento geológico corresponde a sondajes, pero en el corto plazo, junto a los sondajes, están los pozos de tronadura que permiten aumentar el nivel de información y, como consecuencia, generar un mejor modelo geológico.

Los casos más difíciles de modelamiento geológico corresponden a yacimientos de metales preciosos, los cuales, por lo general, tienen mineralización asociada a vetas. En estos casos, las estimaciones del depósito se remiten a metros de sondajes que interceptaron la veta. Errores en espesores de mineralización (volumen), continuidad y leyes, comprometen miles de toneladas y por ende enormes pérdidas del punto de vista económico.

En este mismo sentido, la caracterización de las diferentes unidades litológicas permite tener una mejor predicción de la dilución, al tener definidas cuáles de estas unidades litológicas están asociadas a mineralización económica, de forma que la planificación tenga en cuenta los contactos de diferentes unidades litológicas al momento de llevar a cabo la explotación.

➤ Definición de polígonos de producción

En el proceso minero es necesario identificar qué material será enviado a planta y cuál no. Esta información debe ser traspasada a los operadores de palas y camiones para que no existan discrepancias.

Para poder realizar lo anterior, es necesaria la definición de polígonos de producción con el objetivo de identificar los sectores donde la pala cargará mineral y en los cuales cargará estéril.

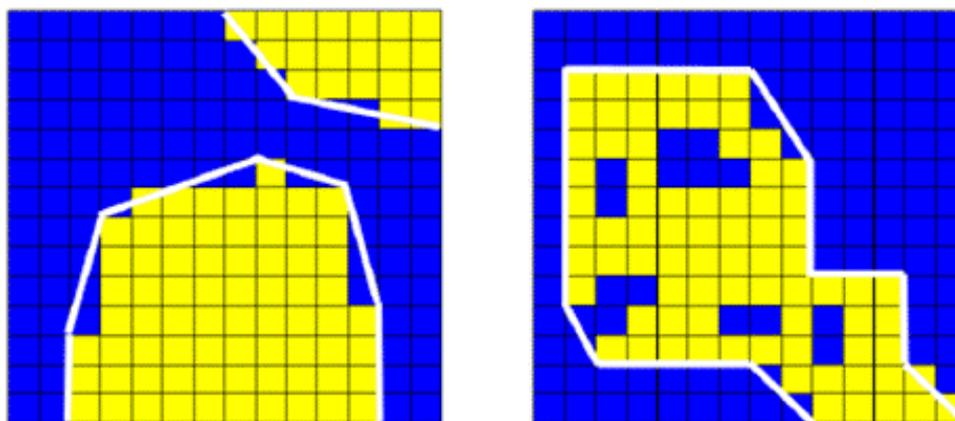


Ilustración 22: Definición de polígonos de extracción (amarillo: mineral, azul: estéril)

La definición de estos polígonos resulta arbitraria en el sentido que el planificador de corto plazo los genera teniendo en consideración que la ley media del polígono sea mayor a la ley de corte. Por aspectos operativos del equipo de carguío, es imposible generar una selectividad de un 100%. De esta forma la disposición de los polígonos muchas veces incluye estéril tal como se aprecia en la figura anterior o viceversa.

4.2.3.2. Dilución operacional

La dilución operativa en una faena minera a cielo abierto corresponde al material estéril que no se logró separar del mineral durante la extracción [6]. Esta dilución se genera por efectos de la selección no libre de bloques y con la definición de los polígonos de extracción que se definen en la planificación de corto plazo.

La dilución operativa produce dos tipos de impactos:

- Un aumento del tonelaje enviado a planta, con una baja en la ley media a la planificada, producto de la incorporación de material estéril.
- Disminución del tonelaje enviado a planta con una mayor ley media a la planificada (Dilución "Negativa")

Otro factor que afecta el nivel de dilución operativa son los contactos entre mineral y lastre. Si se tienen contactos suaves o regulares será más fácil seleccionar mineral por sobre estéril.

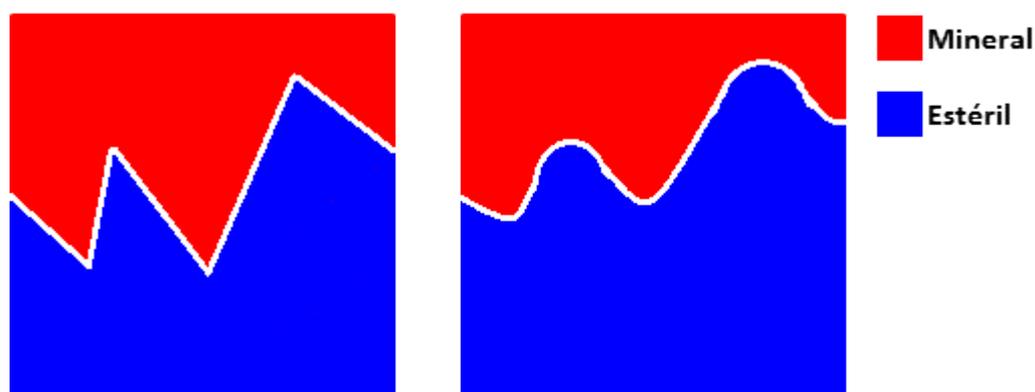


Ilustración 23: Tipos de contacto entre estéril y mineral

En la Ilustración 23 se puede apreciar que el contacto de la izquierda es más irregular que el de la derecha, con lo que se tendrá mayor dilución.

La tronadura produce una mezcla de material en los límites de mineral y estéril no permitiendo definir un contacto claro para efectos del proceso de carguío.

4.3. Planificación minera

La planificación minera se define como el proceso de ingeniería de minas que transforma el recurso mineral en el mejor negocio productivo para el dueño [14], definiendo una promesa productiva y convirtiéndose en un documento bancable para los inversionistas, de forma tal de maximizar la renta del negocio minero, activando cada una de sus fuentes e integrando las restricciones impuestas por el recurso mineral, el mercado y el entorno. Las razones por las cuales se debe realizar planificación minera son las siguientes:

- La minería, como negocio, es uno de los que involucra la mayor cantidad de capital y posee los más altos niveles de incertidumbre.
- La minería es uno de los negocios que ha llevado a la bancarrota a la mayor cantidad de inversionistas.
- Típicamente los proyectos mineros en vez de pagar el capital, lo consumen en conjunto con las utilidades.

Así, la planificación minera juega un rol fundamental a la hora de reducir los niveles de incertidumbre del negocio minero y transformarlo en un negocio rentable, lo cual facilita la búsqueda de accionistas e inversionistas para los diferentes proyectos en carpeta.

La planificación minera debe ser coherente (acorde con los objetivos estratégicos de la empresa), sistémica (incluye diferentes áreas de la ingeniería, además de otras disciplinas como geología, geofísica, etc.), y dinámica (analiza el comportamiento operacional en las labores y luego es modificada de acuerdo a este análisis).

4.3.1. Tipos de planificación minera

4.3.1.1. Según objetivo

La planificación minera se puede clasificar en:

- **Planificación estratégica:** tiene como objetivo sincronizar los siguientes actores: mercado, recursos disponibles y objetivos de los inversionistas. Sus principales funciones son el reconocimiento constante del recurso mineral, la definición de los métodos y ritmos de explotación, de la secuencia de producción y de las leyes de corte.
- **Planificación conceptual:** es el proceso que delinea los recursos existentes para conducir a la meta productiva definida por la planificación estratégica, enmarcándose en un ámbito de proyecto. Sus principales funciones son establecer la envolvente económica, el programa de producción y el diseño del proceso, evaluar los recursos a utilizar, realizar un estudio de costo y valoración, y establecer los indicadores de desarrollo sustentable. Todo lo anterior conduce a la obtención del plan minero, que corresponde a la definición de qué, cuándo y cómo se extraerán los recursos en cada uno de los periodos del negocio minero, representando el plan de negocios de la compañía.
- **Planificación operativa:** en esta etapa se produce una retroalimentación hacia la planificación conceptual de modo de redefinir algunos conceptos y generar los proyectos que permitan alinearse con el plan minero, lo que permite la definición de los indicadores operacionales.

4.3.1.2. Según horizonte temporal de estudio

Otro aspecto relevante dentro de la planificación minera, es el de los horizontes de planificación, que corresponden a una herramienta para tratar la incertidumbre del proceso minero.

Mientras la planificación de largo plazo típicamente se encarga de maximizar el valor del proyecto, la planificación de corto plazo está comúnmente asociada a un objetivo basado en las metas de producción con límites máximos o mínimos de ciertos constituyentes químicos críticos, como por ejemplo, en minería de carbón con altos contenidos de sulfuros, el maximizar la producción de estos sulfuros.

De este modo, se definen los siguientes horizontes:

- **Planificación de largo plazo:** se encarga de la definición del tamaño y vida de la mina, como de las reservas de ella. Para ello, en este horizonte se define la envolvente económica, el método, ritmo y secuencia de explotación, el perfil de leyes de corte y principalmente la inversión y los costos de forma tal de entregar la mayor información posible a los inversionistas, incorporando proyectos con diferentes niveles de riesgo.
- **Planificación de mediano plazo:** se encarga de adaptar los modelos que sustentan la planificación de largo plazo, produciendo planes de producción que conduzcan a la operación a las metas de producción definidas. El resultado obtenido en este horizonte, permite

adaptar la definición de negocios de la mina mediante el reemplazo de infraestructura, reconocimiento de nuevos recursos, proyectos de contingencia, etc.

- **Planificación de corto plazo:** se encarga de la recopilación y utilización de la información operacional de modo de retroalimentar la planificación de mediano plazo. Además, debe corregir los modelos que sustentan la planificación de modo de soportar el presupuesto de operaciones de la mina.

4.3.2. Proceso de planificación

El proceso de planificación minera involucra los siguientes pasos:

- **Modelación de recursos:** Realizar interpretación en 3D de los sondajes efectuados, llevándolos a un modelo geológico. Debido al costo de los sondajes o a las limitaciones de longitud de ellos, es posible que un yacimiento solo pueda ser estudiado hasta cierta profundidad, por lo cual no se puede apreciar una variabilidad mineralógica importante, lo que lleva a realizar diseños mineros limitados según las características iniciales de yacimiento, los cuales no están preparados para soportar ni sustentar esta variabilidad.
- **Diseño minero:** Determinar según las características físicas y geológicas del yacimiento el método de explotación a utilizar y todos los procesos necesarios para la obtención del producto que se desea comercializar. Lo anterior estará delimitado por la interpretación geológica, puesto que una mala interpretación del yacimiento puede provocar que en el futuro, frente a cambios de mineralización, se deban realizar también importantes cambios de infraestructura y procesos para continuar con la producción.
- **Plan de producción:** En el caso de una mina a cielo abierto, se debe definir el pit final, el secuenciamiento en fases, realizar una discretización en unidades de reserva (fase banco, bloques) y definir en qué periodo de tiempo se extrae cada una de ellas. Si no se considera la variabilidad de la mineralización en el yacimiento, los planes de producción definidos para el largo plazo, presentarán importantes diferencias con los planes de corto plazo.

4.3.3. Planificación en minería a cielo abierto

La planificación de minas a cielo abierto tradicionalmente se ha realizado en forma secuencial y realizando optimizaciones en cada uno de sus procesos. Estos procesos son los siguientes:

- Obtención del modelo de bloques.
- Valorización de los bloques del modelo.
- Aplicar la metodología de Lerchs y Grossmann.
- Obtención de pit anidados.
- Definición de fases.
- Definición de leyes de corte.
- Construcción del plan de producción.
- Diseño de rampas y accesos.
- Suavizamiento del plan de producción.

Actualmente, la planificación minera de corto plazo en una mina a cielo abierto se realiza mediante una metodología manual de prueba y error, en la cual el planificador realiza cortes en la fase-banco en explotación (dada por la planificación de largo plazo) los cuales deben cumplir con la capacidad de movimiento mina dada por los equipos de carguío y transporte, con la capacidad de alimentación de mineral a la planta de chancado y con ciertas características mineralógicas y geometalúrgicas de este mineral de alimentación. Una vez realizado un corte, se analizan las variables involucradas y en el

caso de cumplir se acepta dicho corte y en caso contrario se debe probar con otro. Esta forma de realizar la planificación presenta una serie de problemas los cuales se señalan a continuación:

- La planificación realizada depende principalmente de la mano del planificador y de la experiencia de este, lo cual se traduce en los tiempos involucrados en realizarla.
- El realizar cortes en una fase-banco determinada no asegura el cumplimiento de las restricciones geometalúrgicas, puesto que la fase-banco cumple con dichas restricciones en forma global según la planificación de largo plazo, pero al realizar cortes individuales dentro de ella, estos no necesariamente lo van a hacer.
- El diseño y la planificación minera de largo plazo se realizan sin considerar mezclas.
- Esta metodología manual de planificación se realiza sin visión en el tiempo, es decir, solo se trata de cumplir con los requerimientos actuales, sin considerar lo que se dejará para explotar en el futuro.
- Los equipos utilizados para realizar la extracción de estos cortes fueron planificados según el largo plazo para una operación con características masivas y a la hora de realizar esta tarea se encuentran con una operación mayormente selectiva lo que trae como consecuencia una reducción en la productividad de los equipos involucrados.

4.4. Conciliación Mina – Planta

La estimación de reservas realizadas por geología es medida y comparada de acuerdo a los resultados obtenidos por la mina; así mismo, los pronósticos de la mina son comparados con los resultados informados por la planta que procesa el mineral. A este proceso se le conoce como conciliación mina – planta.

Durante la conciliación de mina-planta, comúnmente, se producen diferencias respecto de los tonelajes y leyes informados entre la mina y la planta. Ello, debido a que la mina se maneja con las cifras de planificación, haciendo actualizaciones en terreno de tonelajes (la ley es muy difícil poder actualizarla en el minuto de la extracción), y la planta, con los datos que ellos mismos obtienen de los análisis que realizan a la masa entrante al proceso.

5. PROBLEMÁTICA

Durante el verano del 2013 comenzó el pre-stripping de Fase III en El Soldado, fase que permitiría alimentar la planta de chancado durante los años 2014 y 2015. Con ello, se lograría mantener el ritmo de producción en 60.000 toneladas de cobre anuales.

Sin embargo, debido a problemas geomecánicos (presencia de fallas y cuña) en Fase III, existe un retraso de más de 6 millones de toneladas de movimiento de estéril a enero de 2014.

Dicha situación provocará, inevitablemente, la modificación de los planes productivos establecidos, puesto que aún se requiere remover bastante estéril para acceder al cuerpo mineralizado.

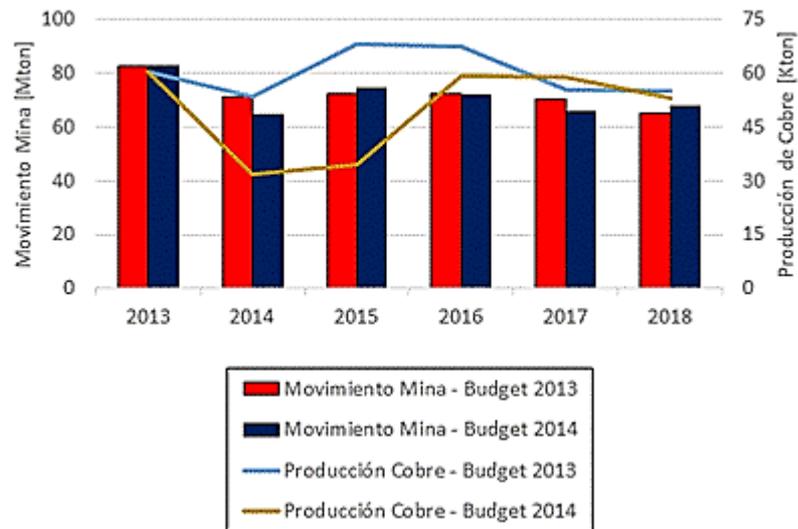


Ilustración 24: Movimiento mina y producción de cobre - Plan 2013 y 2014

Se puede observar de la figura anterior que, si bien existe gran variación en el movimiento mina, es la producción de cobre la que se ve mayormente afectada.

La problemática presentada por la faena es el poder optimizar la extracción de mineral en Fase II, es decir, extraer el mineral restante sin que existan mayores pérdidas en el proceso (de tonelaje y/o ley) de manera que se puedan mitigar las pérdidas millonarias del atraso del pre-stripping.

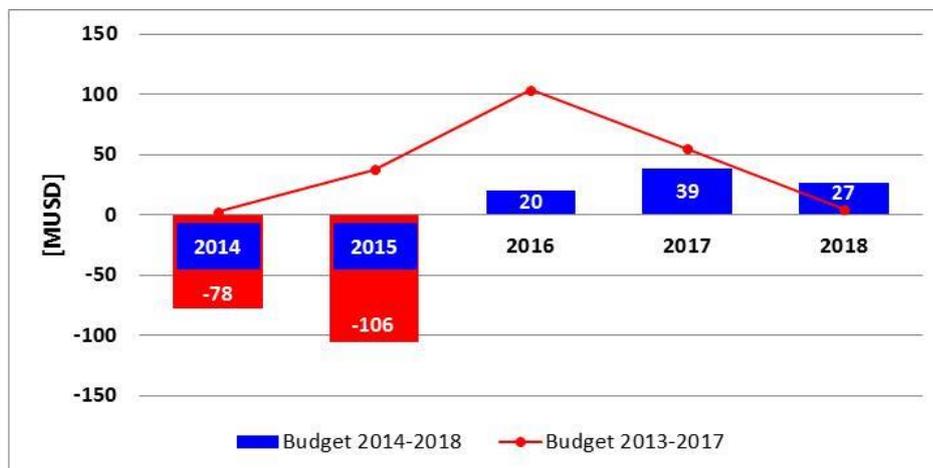


Ilustración 25: Cash-flow de El Soldado

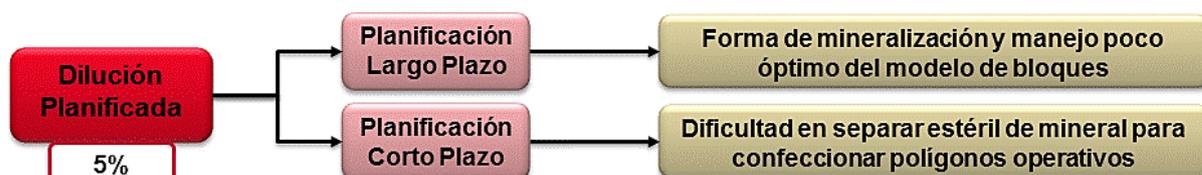
6. DILUCIÓN EN MINA EL SOLDADO

Como ya se mencionó en el capítulo 4, la dilución minera en términos globales es simplemente una disminución del cobre extraído (en calidad y cantidad respecto del estándar planificado), por efecto de la extracción conjunta de estéril y mineral y/o prácticas operacionales.

Actualmente, la faena cuenta con un porcentaje de dilución que bordea el 8% al 10%, siendo un 5% de dilución planificada y un 3% a 5% de dilución operacional.

6.1. Dilución planificada

Se entiende como dilución planificada aquella que proviene de la geología presente en el yacimiento (modelo geológico) y que se genera por la planificación minera.



Cabe señalar que no es posible modificar la forma de mineralización del yacimiento, por lo que se tendrá poca o casi nula injerencia en lo que al modelo de bloques respecta. Sin embargo, sí se puede discutir el proceso que realiza la oficina de geología para determinar que es mineral y que no.

Así, en lo que a dilución planificada respecta, se tendrá:

- Dilución inherente del modelo geológico
- Dilución por definición de polígonos de extracción

6.1.1. Dilución inherente del modelo geológico

Esta dilución se produce en el proceso de transformar los recursos mineros (modelo geológico estimado) a reservas mineras (modelo geológico de planificación).

El modelo usado por planificación es de 6,25x6,25x15 [m], por lo que necesario realizar un proceso de rebloqueo desde el modelo de estimación. Para este proceso se usa el promedio de las leyes de todas las subceldas que están incluidas en el bloque grande, independiente de su valor. Un bloque debe tener a lo menos 4 subceldas con leyes para ser considerado como estimado.

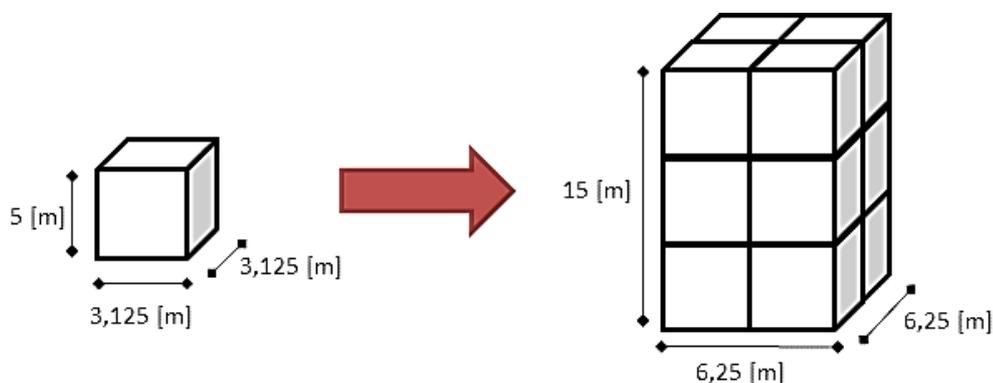


Ilustración 26: Rebloqueo desde Modelo de Estimación a Modelo de Planificación

El problema que se presentaba con la utilización del Método I era la sobreestimación de leyes en las zonas de contorno del bloque a la hora de planificar la extracción mina. Por el tamaño de los equipos, y la selectividad de los mismos, se extraerán bloques de mineral en conjunto con bloques de estéril, sobretodo en el los límites estéril/mineral. Es en esos puntos, planificación estimaba una ley mayor a la que efectivamente llegaba a la planta de procesamiento, provocando incoherencias a la hora de la reconciliación de datos.

Con la metodología I se tenían los siguientes factores de ajuste:

- Ley: Dilución de un 5% respecto a la ley planificada de extracción
- Tonelaje: Extracción de un 5% más de tonelaje del planificado

Para intentar disminuir este efecto se estudiaron 2 nuevos métodos de rebloqueo:

- **MÉTODO P:**
 - La ley del macro bloque se calcula con todas las leyes de los bloques originales.
 - En función de la ley del macro bloque, se determina si este es mineral o estéril (Ley de corte 0,30% CuT).
 - **Problema:** Mayor tonelaje y menor ley
- **MÉTODO IP:**
 - Se asignará la naturaleza del macro bloque con el método I
 - Se calculará la ley del macro bloque según el método P

Luego de una serie de análisis por parte de la gerencia de geología, se determinó que el método de rebloqueo que mejor se ajusta a los objetivos de la empresa es el método IP. Con este se modelo se obtienen tonelajes y leyes más bajas en comparación con las leyes y tonelajes de las subceldas de estimación, sin embargo, los valores que se entregan por el modelo IP conversan de mejor manera con los valores de la extracción mina (mejor reconciliación de datos).

Estéril: Blanco, Mineral: Rojo

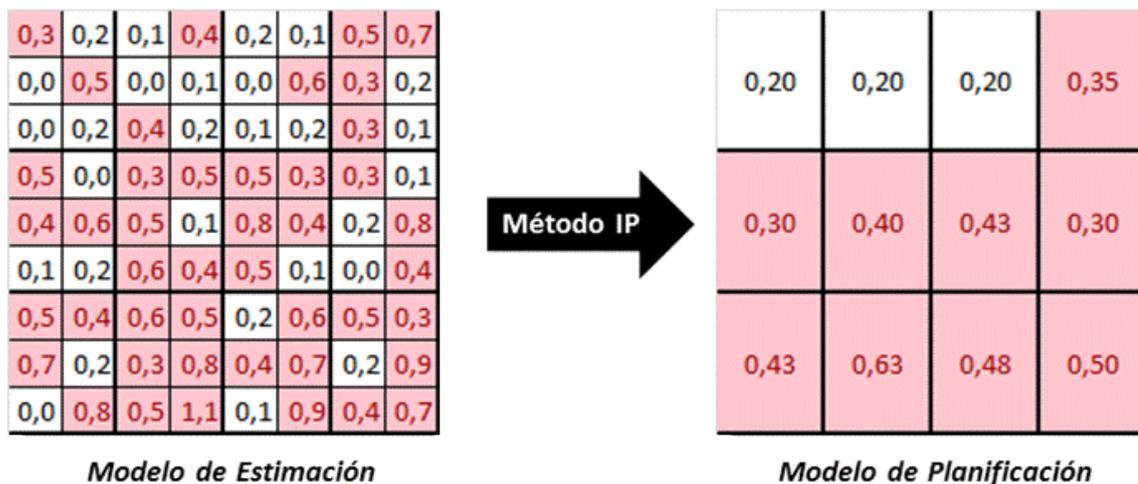


Ilustración 29: Esquema demostrativo del uso del método IP para rebloqueo

Los nuevos factores de ajuste (dilución inherente del modelo geológico) serán:

- Ley: Dilución de un 2% respecto a la ley planificada de extracción
- Tonelaje: Extracción de un 5% más de tonelaje del planificado

Como se puede observar, se logró disminuir la dilución de mineral respecto a la ley que llega a la planta de procesamiento. De cierta manera, lo que se buscó en el estudio de nuevos métodos de

rebloqueo era incorporar al modelo de planificación la dilución propia del yacimiento (cuerpos pequeños y diseminados), disminuyendo las inconsistencias entre mina y planta, lo que lleva finalmente a balances (real v/s planificado) de tonelaje y ley más exactos.

6.1.2. Dilución por definición de polígonos de extracción

El planificador de corto plazo, considerando las dimensiones de los equipos de carguío con los que se cuenta, deberá definir los polígonos de extracción operativos. Una mala determinación de estos ocasionará dilución por ley y por tonelaje (variación de ambos factores respecto de la extracción planificada en largo plazo).

Primero que todo se debe tener claridad del tamaño del bloque con el que se trabajará. Del punto anterior, se puede obtener este dato. Además, se debe conocer el ancho del balde del equipo que se hará cargo de la extracción.

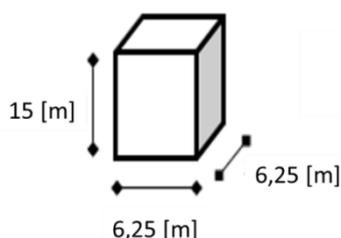


Ilustración 30: Tamaño de bloque

Equipo	Capacidad [m ³]	Ancho Balde [m]
Komatsu PC 5500	29	4,57
Komatsu PC 8000	42	5,38

Tabla 10: Capacidad y Ancho de Balde de Equipos de Extracción

Esto implica que por cada bloque extraído quedan 1,68 m y 0,87 m por sacar para las palas PC 5500 y PC 8000, respectivamente. Es claro que la porción de bloque restante es de menores dimensiones que el balde mismo, por lo cual se terminará extrayendo en conjunto con una porción de otro bloque que no necesariamente es de la misma categoría que el inicial (mineral o estéril) para completar la totalidad del volumen del balde. La situación anterior constituye un punto importante de dilución.

Tomemos un sector de la mina para simular una extracción con los diferentes equipos.

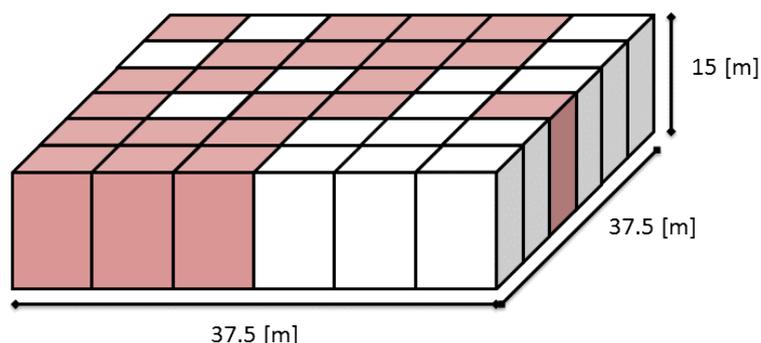


Ilustración 31: Polígono de extracción para una zona X de la mina (rojo:mineral ; blanco:estéril)

A grosso modo, no habría mayor dificultad al extraer la zona minera y estéril por separado. Sin embargo, la dificultad recae en la extracción diferenciada de aquellos bloques que están inmersos en la zona opuesta (mineral en estéril o viceversa) y en la línea de borde que separa ambas zonas.

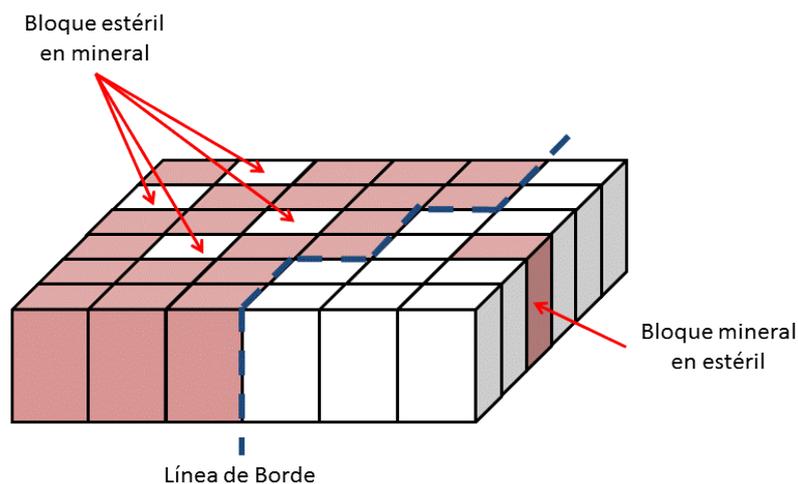


Ilustración 32: Esquema explicativo polígono de extracción

Lo ideal sería poder extraer cada bloque en solitario, de manera que la separación estéril-mineral fuera casi al 100%. Sin embargo, por tema de costos, es más rentable utilizar menor cantidad de equipos con mayor capacidad de carguío, y es en este punto donde se debe realizar el análisis respecto de costo de operación v/s beneficios por cobre recuperado (no olvidar que los equipos más grandes tienen menor selectividad, aumentando la dilución asociada).

Dado que las palas no cuentan con un sistema de monitoreo en línea, que permitiría a los operadores saber in situ el tipo de material que extraen, la extracción se guía por banderines puestos en la cima del banco en operación. Estos banderines indican la categoría del material minado (sulfuros de alta, media o baja ley, estéril u óxidos), sin discriminar si existen bloques de otro material en el global del tronado.

Por lo tanto, aquellos bloques aislados en las zonas opuestas serán extraídos como parte del todo, es decir, los bloques de estéril en la zona mayormente de mineral serán extraídos como mineral y vice versa.

Así, finalmente el problema es la mezcla que se producirá en la línea de borde y en los bordes que separan el polígono de extracción actual con los otros polígonos a ser extraídos más adelante.

Por esta razón, el planificador debe seleccionar el polígono cuya extracción acaree menores pérdidas de mineral y menores costos asociados.

Bajo este concepto (dilución por definición de polígonos de extracción), se obtiene una dilución de 3% aproximadamente, referente a la disminución de leyes.

A modo de resumen, se tiene la siguiente distribución de dilución planificada:

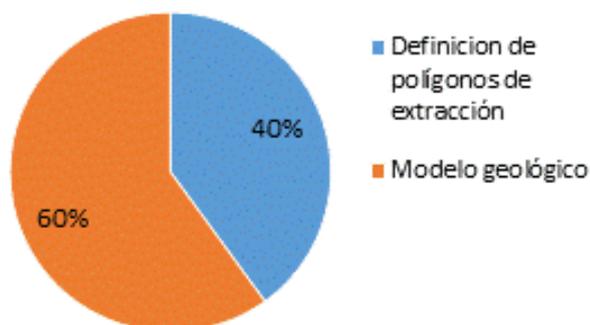
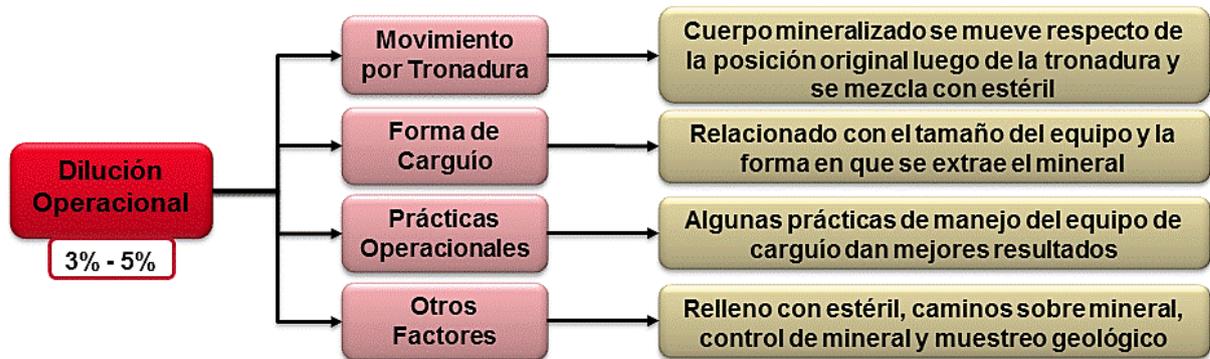


Ilustración 33: Distribución de dilución planificada

6.2. Dilución operacional

Esta dilución es la que se produce directamente por malas prácticas operacionales, ya sea de los operadores de los diferentes equipos de C&T, en la operación de estos equipos, o en los distintos trabajos de las operaciones unitarias.

Bajo este concepto, se han identificado los siguientes puntos problemáticos:



6.2.1. Dilución por tronadura

En la minería a cielo abierto, la técnica de arranque de roca mediante voladura conlleva una necesidad de controlar la dilución que se produce a través de los mecanismos de fragmentación y desplazamiento de la pila de roca, donde se mezcla mineral y estéril.

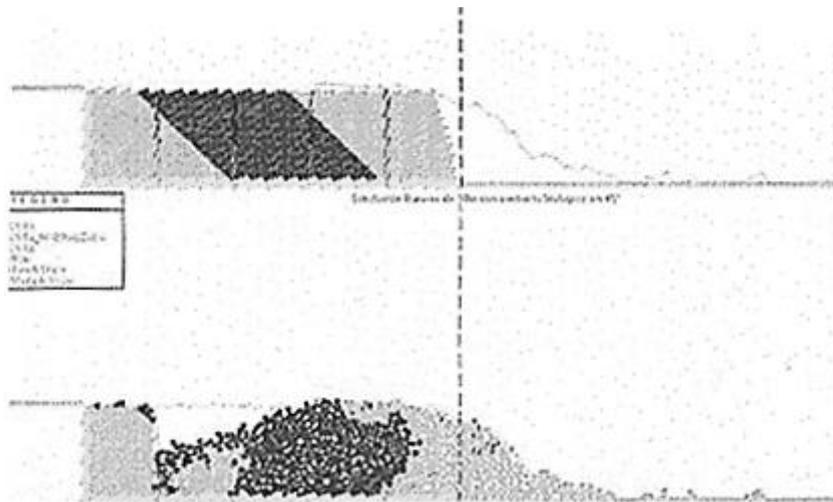


Ilustración 34: Desplazamiento de material tronado (gris oscuro: mineral, gris claro: estéril)

Claramente existe un desplazamiento considerable del material durante el proceso de tronadura, acentuando la dificultad para determinar el límite entre estéril y mineral.

Se realizaron dos pruebas para determinar este movimiento: una con cámara de alta velocidad y la otra con tubos de PVC.

Como antecedente, de un estudio de dilución por tronadura realizado por NCL se tiene que el porcentaje de dilución varía entre un 8% y 18%, dependiendo de la altura de banco y de la inclinación del mineral respecto del piso.

6.2.1.1. Cámara de alta velocidad

La primera prueba consiste en pintar una línea en la cara lateral de un disparo de estéril, donde se cargará la mitad del disparo con explosivo como si fuera mineral (usando la malla de perforación respectiva, de este modo se asemeja más a la realidad). La tronadura será grabada por la cámara de manera que se pueda observar el desplazamiento de la línea. Con esta medición será posible determinar en qué porcentaje se diluye el mineral producto de la tronadura misma.

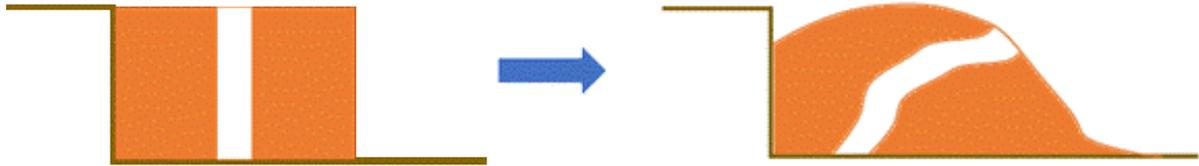


Ilustración 35: Esquema de prueba de tronadura con cámara de alta velocidad

A continuación, se presenta la secuencia de tronadura grabada por la cámara.

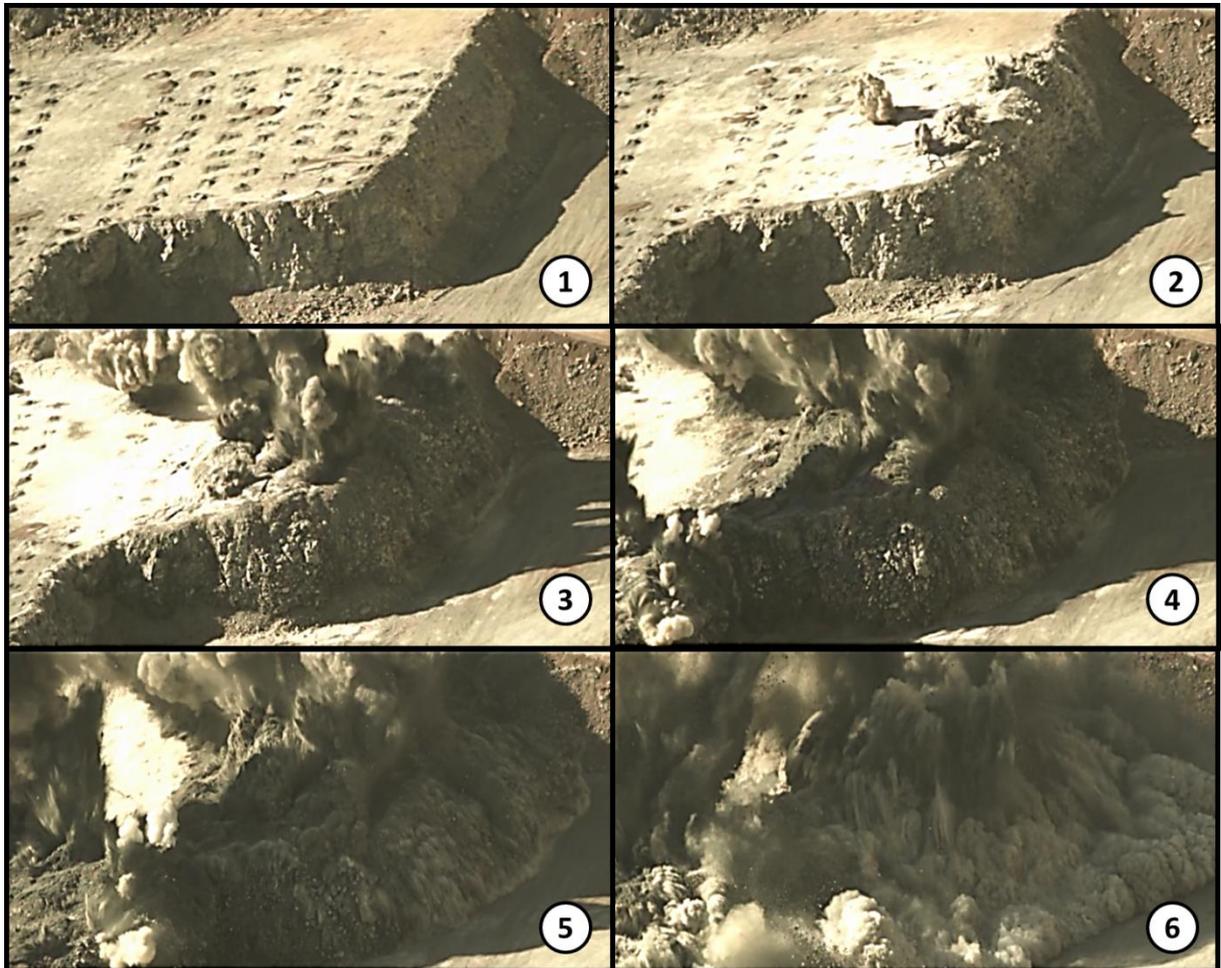


Ilustración 36: Secuencia de tronadura grabada por la cámara de alta velocidad

En terreno, era posible apreciar la línea pintada durante los primeros instantes de la tronadura, sin embargo, a medida que transcurre la voladura se hace imposible seguir el curso del movimiento de la misma. Una vez disipados los gases provocados por la tronadura, fue posible observar rocas pintadas en el terreno con lo que se pudo realizar una aproximación del movimiento del material, lo que no constituye un estudio con alto grado de certeza.

Se estimó que el material se desplazó de 1 a 1,5 mts aproximadamente.

6.2.1.2. Tubos de PVC en el banco a tronar

La segunda prueba se realizó en el disparo de estéril contiguo al usado en la prueba anterior. De igual manera, la mitad del disparo fue cargado como mineral. En esta oportunidad se colocaron tubos de PVC en los tiros (que sobresalen del banco en altura) de modo que, una vez realizada la tronadura y habiendo tomado las coordenadas iniciales y finales de los tubos, se pudiera calcular el movimiento de material y la dilución asociada.

Esta prueba fue realizada en conjunto con personal de ENAEX.

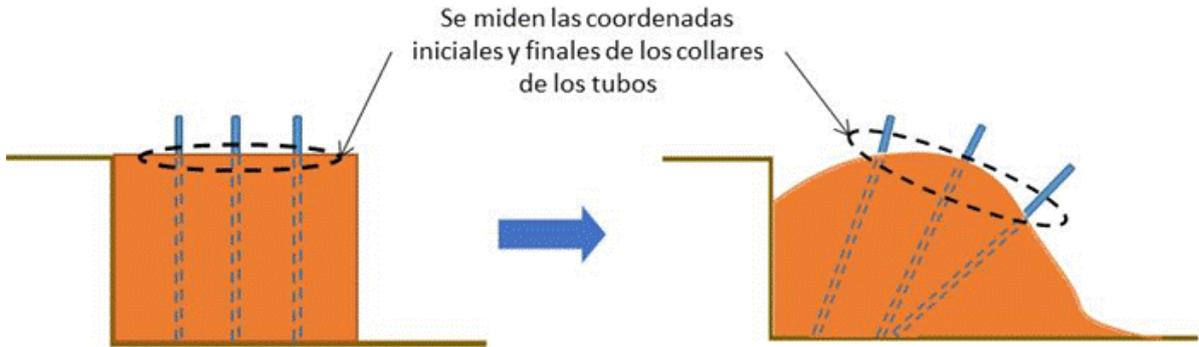


Ilustración 37: Esquema de prueba de tronadura con tubos de PVC

A continuación, se muestra como fueron dispuestos los tubos de PVC dentro del disparo.

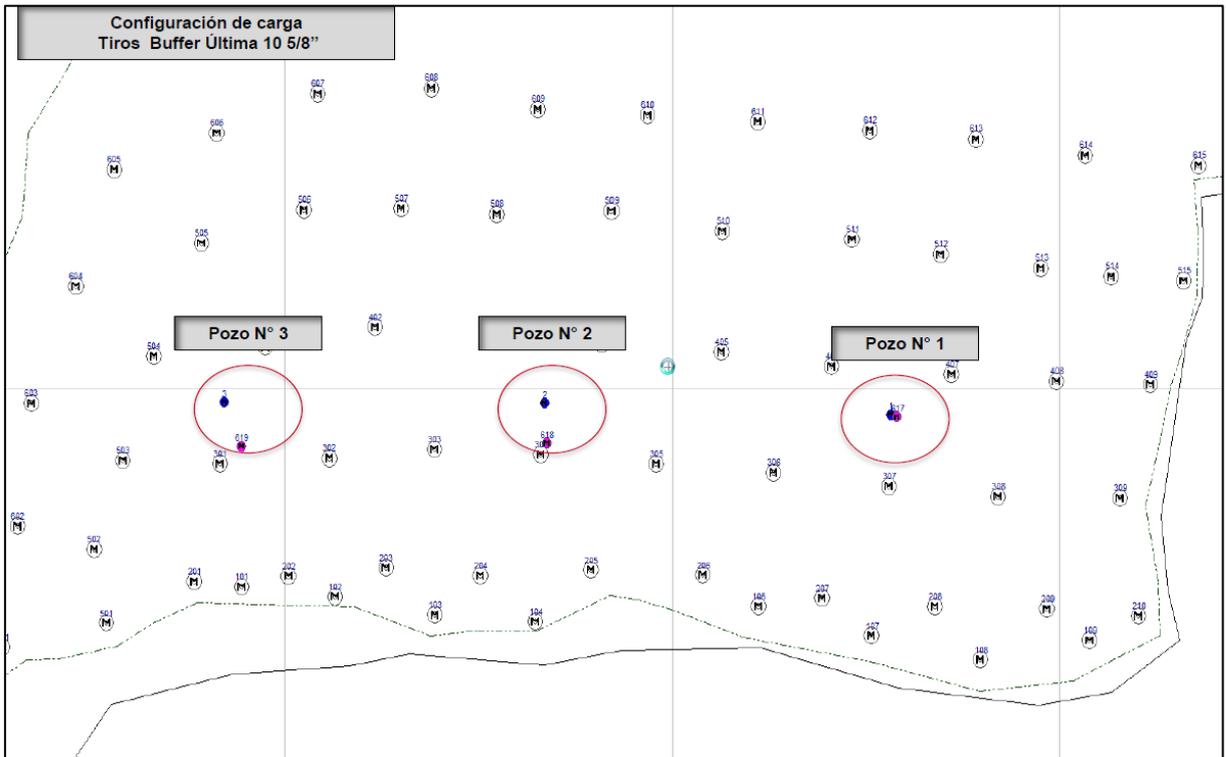
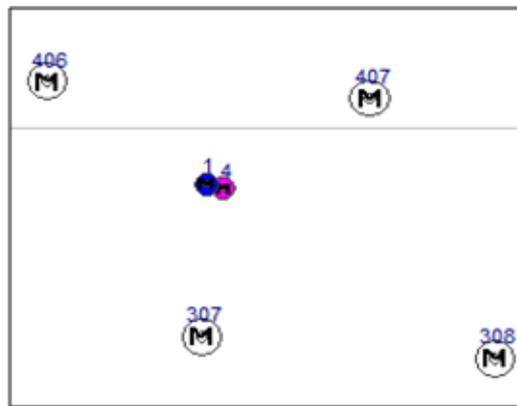


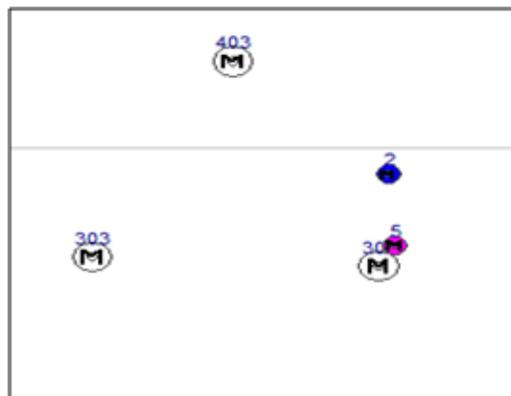
Ilustración 38: Disposición espacial de los tubos de PVC

El desplazamiento experimentado por cada uno de ellos se detalla en las siguientes ilustraciones,



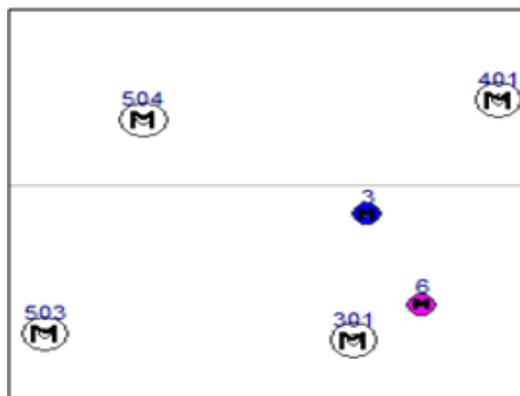
DESPLAZAMIENTO [m]	
PLANO	3D
0,4	1,8

Ilustración 39: Desplazamiento Pozo 1



DESPLAZAMIENTO [m]	
PLANO	3D
2,2	5,2

Ilustración 40: Desplazamiento Pozo 2



DESPLAZAMIENTO [m]	
PLANO	3D
2,7	2,8

Ilustración 41: Desplazamiento Pozo 3

Mayores detalles de la experiencia pueden ser encontrados en la sección de anexos.

Tomando como punto de comparación el desplazamiento en el plano, existe una diferencia no menor entre los pozos 1, 2 y 3. Comparando el promedio de los valores medidos con esta prueba en contraste con la anterior (cámara de alta velocidad) se tiene una varianza de 0,2.

Realizados los cálculos para determinar la dilución asociada a la tronadura, y considerando una altura de banco de 15 m, se determinó que existe un aproximado de 17% de dilución por efectos de la voladura.

6.2.2. Dilución por forma de carguío

Debido a la forma que cargan palas y cargadores frontales, el material no se extrae de manera perpendicular al piso sino que se va sacando en arcos desde el piso. La siguiente figura deja mejor explicado el concepto.

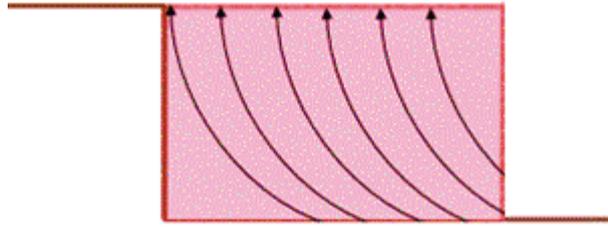


Ilustración 42: Forma de extracción de palas y cargadores

Al ir extrayendo el material en arcos, no concéntricos, se va generando una pata en los bancos.

La figura siguiente muestra como se ve lateralmente la pata que queda en conjunto con el polígono que se debe extraer por plan minero.

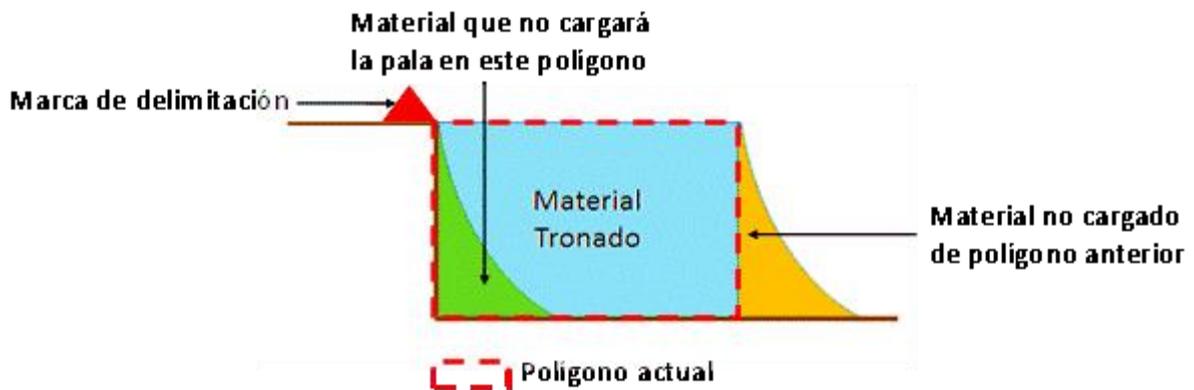


Ilustración 43: Esquema de vista lateral de polígono a ser extraído

La marca de delimitación no puede ser arrancada por la pala, es por ello que el sector de color verde no podría ser extraído. De esta manera el polígono que se extrae el día de hoy tendrá siempre una pequeña parte del polígono que lo antecedió, generando una mezcla de materiales.

Al mezclarse el material antiguo con el nuevo existirá una modificación del tonelaje y ley que efectivamente se extraerá del polígono actual, lo que también será considerado como dilución.

Con ayuda de topografía y utilizando una estación total¹, se realizaron diversas mediciones de patas (porción del polígono que la pala deja sin extraer) alrededor de la mina. Con ello se obtuvo la topografía exacta de las patas, permitiendo calcular su tonelaje de manera confiable.

La idea era poder calcular cuánto material es el que efectivamente se deja sin cargar y, con el modelo de bloques, estimar la dilución que se induce en la extracción del polígono siguiente. Para esto se utilizará el software Minesight y Excel.

¹ Ver anexos para mayores detalles del funcionamiento de la estación total

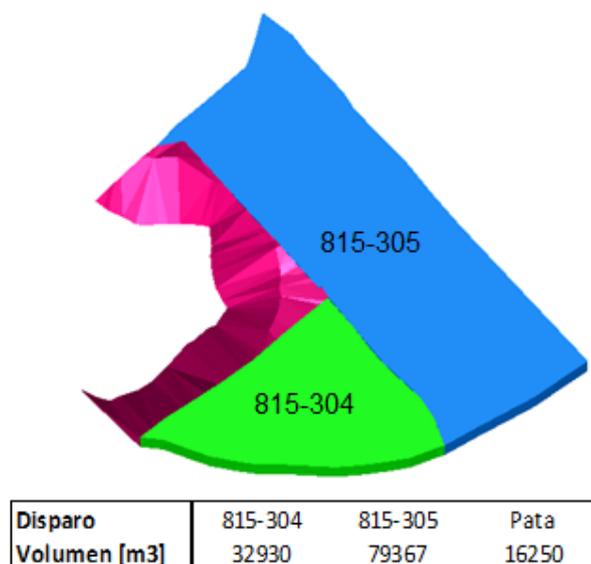


Ilustración 44: Imagen 3D obtenida con MineSight - Topografía real de bancos de extracción

Suponiendo que la mitad del volumen de la pata será extraído con el disparo 815-304, se puede observar que se añadirá un 25% de material extra que no estaba considerado en el plan, modificando tanto tonelaje como ley estimada para el disparo. Esta situación creará discordancias entre lo que se dice debe llegar a planta y lo que efectivamente llega a procesamiento.

Es de suma importancia la naturaleza del material de la pata, puesto que si se está hablando de mineral, subirá o mantendrá las leyes de los disparos; si es estéril, disminuirá las leyes.

Tomando en consideración que el disparo 815-304 es mineral y el 815-305 es estéril, además de lo mencionado en el párrafo anterior, se tendrán diluciones del orden de 6% a 23%.

Disparo	815-304	815-305	Pata
Volumen modelo [m3]	32,930	79,367	16,250
Volumen a extraer [m3]	34,469	82,173	
Tonelaje modelo [ton]	85,617	206,354	
Tonelaje a extraer [ton]	89,619	213,650	
Ley modelo [%]	0.42%	0.05%	0.30%
Ley a extraer [%]	0.39%	0.11%	
Dilución [%]	-6.76%	110.33%	

Tabla 11: Dilución - Pata es mineral

Disparo	815-304	815-305	Pata
Volumen modelo [m3]	32,930	79,367	16,250
Volumen a extraer [m3]	34,469	82,173	
Tonelaje modelo [ton]	85,617	206,354	
Tonelaje a extraer [ton]	89,619	213,650	
Ley modelo [%]	0.42%	0.05%	0.03%
Ley a extraer [%]	0.33%	0.08%	
Dilución [%]	-22.25%	55.71%	

Tabla 12: Dilución - Pata es estéril

Cabe señalar que la extracción del disparo 815-305 extraerá la pata que queda del disparo 815-304, por lo que habrá una segunda mezcla de leyes (lo que se puede ver reflejado en las tablas anteriores).

Para eliminar, o disminuir las repercusiones que tiene el dejar patas en las frentes de carguío, se comenzaron a utilizar cargadores para “amontonar” el material de las patas y poder cargarlo más fácilmente. Con ello se logró disminuir la dilución a un 6% - 11%.

6.2.3. Dilución por selectividad de equipos de carguío

Esta dilución está directa e intrínsecamente relacionada con la dilución referente a la definición de polígonos de producción operativos. Aquí son los equipos de carguío seleccionados los que determinarán que tan precisa es la selectividad en la extracción del metal.

Tal como se detalló en el punto 6.1.2., a mayor dimensión del equipo menor será su capacidad de manejo, lo cual llevará a mayores diluciones. Por supuesto, la experiencia y conocimiento del operador también es un punto importante a considerar.

Para la extracción de mineral se está utilizando la pala Komatsu PC 8000 (el equipo de mayores dimensiones). Su explicación recae en que es “menos costoso” o “más rentable” tener la PC 8000 cargando mineral que estéril. Sin embargo, hay que realizar la evaluación de cuánto mineral se está perdiendo por no utilizar un equipo más pequeño y que se adapte mejor a las condiciones de extracción de la zona mineral. Por ahora, se tiene una dilución de un 5% a un 7%.

Se realizó el cambio de equipo de carguío, pasando a utilizar una PC 5500. Con esto, se disminuyó la dilución a un 3%.

6.2.4. Dilución por caserones rellenos

La operación El Soldado posee particulares características. Además de tener gran cantidad de fallas, haciendo que la geomecánica del sector sea bastante compleja, existe una constante interacción entre el rajo y las antiguas excavaciones correspondientes a la operación subterránea de la mina.

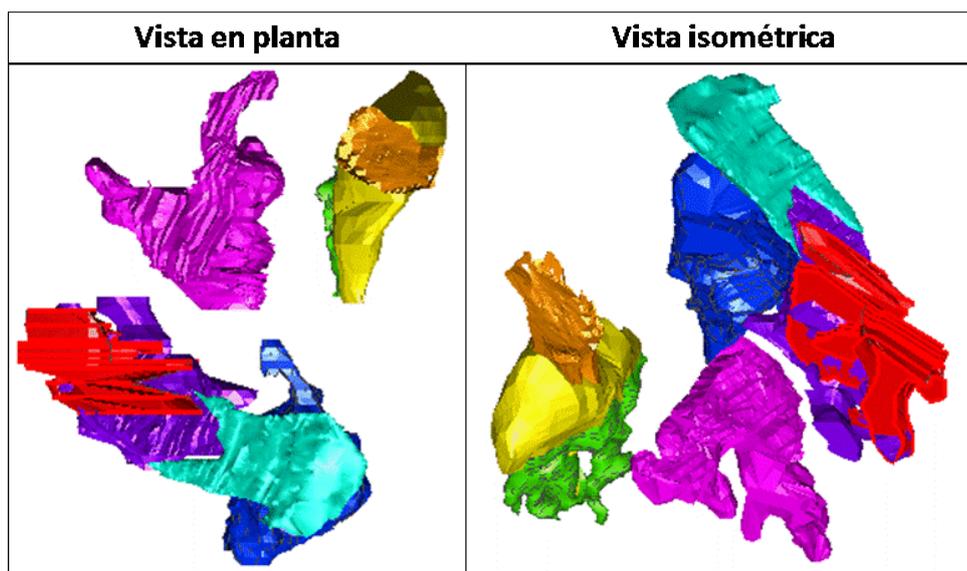


Ilustración 45: Cavidades principales en El Soldado

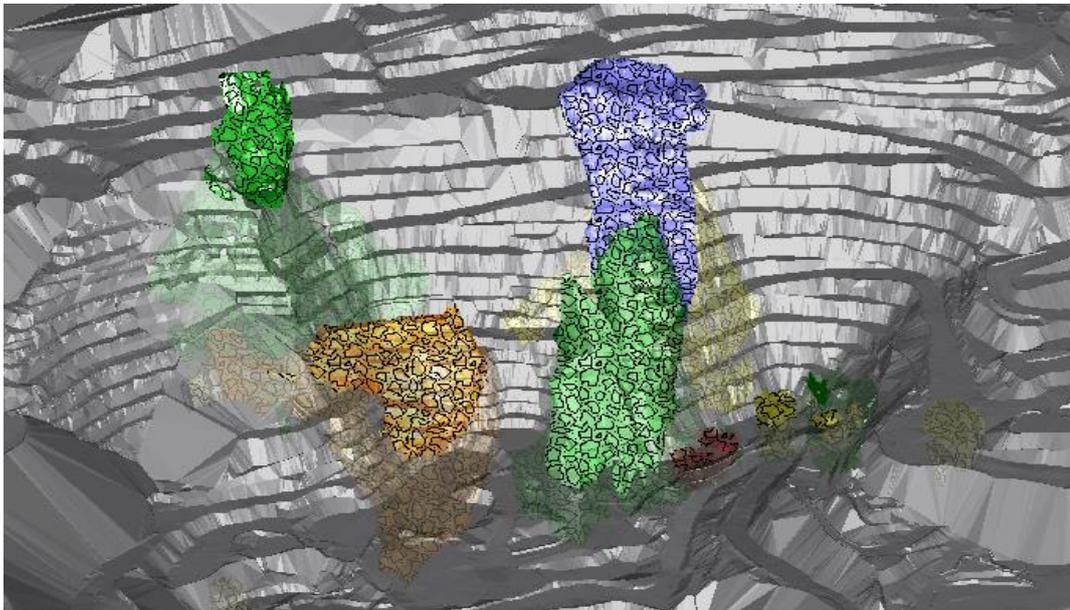


Ilustración 46: Interacción de cavidades con rajo

**EXCAVACIONES
SUBTERRÁNEAS**
Modelo 3DEC

- Macro Cavidades Rellenas
 - California
 - Arauco
 - Valdivia – Santa Clara
- Caserones Abiertos
 - Filo
 - Arauco
 - Valdivia Norte
 - Valdivia Sur
 - Osorno
 - California
 - Santa Clara
 - Catedral
- Caserones Rellenos
 - California
 - Caving
 - Arauco
 - Malva
 - Osorno
 - Santa Clara
 - Filo
- Caserones Abiertos¹
 - San Lorenzo
 - Malva
 - Veta del Agua

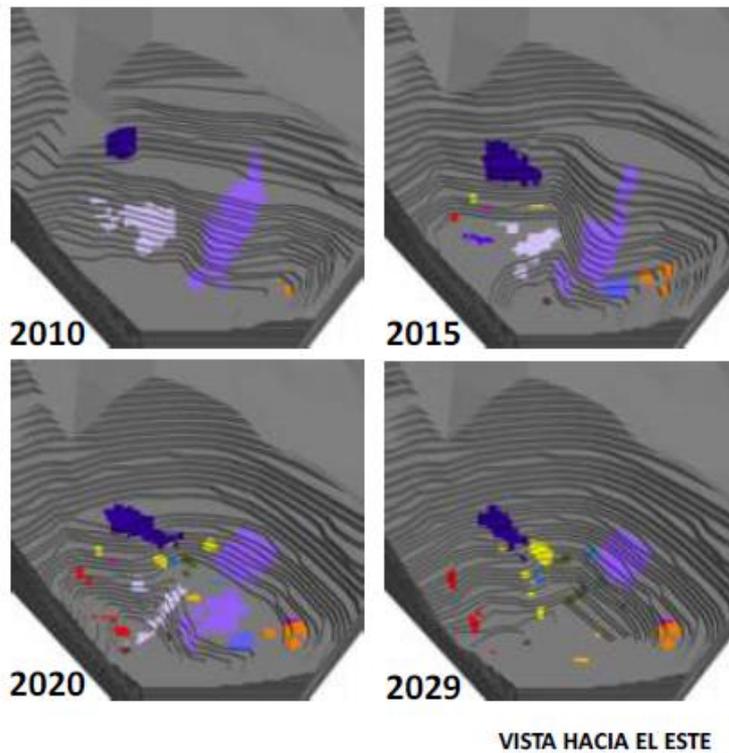


Ilustración 47: Interacción de cavidades con rajo en el tiempo

Para llevar a cabo la extracción por el rajo del material que está sobre las cavidades, se hace necesario rellenarlas para poder realizar las labores de tronadura del disparo y posterior extracción. El efecto que tiene el relleno es la dilución del material.

Los caserones, que contienen mineral de buena ley (sobre 0,80%) en sus paredes, son rellenados con estéril provocando una disminución de ley a la hora de la extracción.

Para dimensionar la dilución asociada, y simplificar los cálculos, se aproximó la forma de las cavidades a un ovalo en revolución.

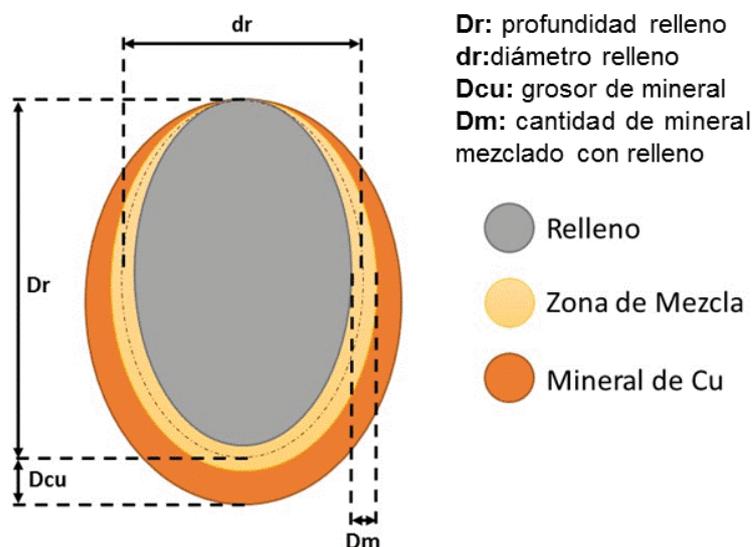


Ilustración 48: Aproximación de forma de cavidades subterráneas

Según los reportes de recursos y reservas que maneja la operación, solo entre las dos cavidades de mayor extensión (Santa Clara y California, ambas con una extensión de aproximadamente 400m x 400 m), se tienen 19.829 kt de 0,86% de Cu.

Considerando los valores anteriores, se supondrán dos posibles casos: relleno con estéril y relleno con baja ley (0,20% de Cu), que es la propuesta realizada a la empresa. Para cada uno, se detalla el valor de las diluciones asociadas. Para realizar el cálculo, se supone que la zona de mezcla es de 1,8 m.

Ley relleno	0,00%	0,20%
Ley mineral	0,86%	0,86%
Ley mezcla	0,43%	0,53%
Ley a Planta	0,81%	0,82%
Dilución	6,38%	4,90%

Tabla 13: Dilución por caserones rellenos

6.2.5. Dilución por error de muestreo geológico

Dado por pozos mal catalogados, es decir, un pozo que debió ser mineral se inscribe en el sistema como estéril.

Esta situación afecta directamente al modelo geológico con el que trabaja la mina, pues dependiendo de la información que entrega el análisis químico de los pozos será cómo evoluciona la forma y las leyes del modelo.

El problema recae en que es posible que el pozo en cuestión posea tanto estéril como mineral, pero el detrito que se envía a análisis sea el incorrecto.

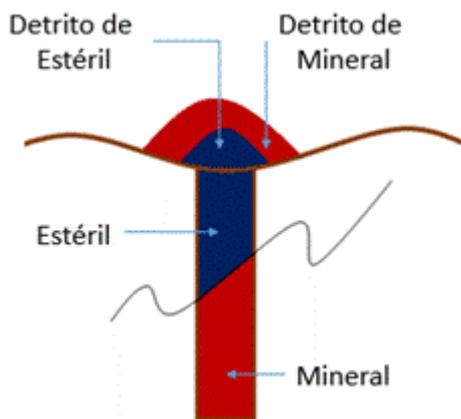


Ilustración 49: Error de muestreo en pozo de perforación

Observando la Ilustración 49 se puede afirmar lo siguiente:

- Si se toma una muestra del detrito superficial, el pozo será de mineral puro.
- Si se toma una muestra de la mezcla del detrito, el pozo será mineral con menor ley o estéril (dependiendo de la ley que se obtenga del análisis químico).
- Si se llegase a tomar una muestra del detrito interno, el pozo será de estéril perdiéndose el mineral bajo él.

La idea original para cuantificar la dilución asociada era medir las leyes de pozos de tronadura a medida que se van profundizando (por ejemplo, cada 5 metros). Sin embargo, por problemas de tiempos, personal y capacidad de análisis en el laboratorio, fue imposible realizar la prueba.

Para poder tener un valor estimativo de la dilución asociada a esta mala catalogación, se usaron los últimos muestreos realizados. Así, se supuso que un 50% de los pozos estaba mal muestreado, con lo que se pudo estimar la dilución en un 8%.

La política de muestreo usada en El Soldado puede ser encontrada en la sección de anexos.

6.2.6. Dilución por caminos

Para tener en buen estado los caminos del rajo se hace necesario colocar cierta cantidad de material estéril, de baja granulometría, sobre el camino para emparejar agujeros y otros desperfectos. El problema se genera cuando no se ha realizado una buena planificación y se coloca una rampa sobre un banco de mineral, provocando un aumento en el tonelaje a extraer y disminuyendo las leyes.



Ilustración 50: Esquema de relleno de rampas

Se ha determinado que por cada 10 [cm] añadidos a las rampas por concepto de emparejar el suelo, se diluye entre 0,6% - 0,7% la ley mineral.

Para relleno de caminos, se utilizan aproximadamente 30 [cm] de estéril, con lo que se tendrá un dilución de entre 1,8% y 2,3%.

Si se utilizara mineral de baja ley (0,20% de Cu), se tiene que cada 10 [cm] añadidos a las rampas, se diluye entre 0,3% - 0,5%.

6.2.7. Prácticas operacionales

Además de todos los puntos mencionados anteriormente como focos de dilución, es muy importante destacar a los operadores de los equipos mina y al sistema de despacho.

En reuniones realizadas con los supervisores, el personal de despacho y los operadores, se rescató lo siguiente:

- No todos los equipos que transitan y trabajan en la mina cuenta con dispatch, es decir, deben informar a sus supervisores y al despacho por radio cuál es su posición y el trabajo al que fueron asignados. Ello genera un desorden generalizado, pudiendo acarrear viajes mal asignados, es decir, que un camión no sepa que se le está cargando estéril, pero que tiene dicho que debe ir a planta a descargar; solo esa acción, desequilibra todo el plan.
- Mala organización en perforación. No se priorizan los disparos de modo que se alcancen a sacar muestras y estas alcancen a ser analizadas, por lo tanto, no se está trabajando con la base de datos actualizada.
- No existe un inventario de disparos, donde se pudiera modificar día a día las leyes de estos, obteniendo mayor precisión en las leyes a extraer. Muy relacionado al punto anterior.
- Dificultad de operativizar los cuerpos minerales presentes en la mina.
- Prácticas operacionales:
 - Existen estadísticas de desempeño de los operadores en los diferentes equipos mina. No se usan aquellos con mejores cifras en el carguío de mineral.
 - No todos los operadores utilizan los planos para la extracción del mineral, por lo tanto no tienen noción de qué están extrayendo.
- Control de mineral:
 - Las banderas utilizadas para la demarcación son muy pequeñas y hay algunos colores que no se logran diferenciar unos de otros.
 - Las marcaciones que separan estéril de mineral en el terreno no tienen buena visibilidad en la noche.
 - El control de mineral (trabajador) no está siempre en la zona de carguío, por lo que el operador debe hacer uso de su buen juicio durante la extracción.
 - Para mayores detalles de cuáles son los objetivos del control de mineral, ir a la sección de anexos.

Bajo todas las observaciones anteriores, se estimó que existirá un 5% adicional de dilución.

En Febrero de 2014, se cambió el sistema de despacho, dejando a todos los equipos con sistema además de que el nuevo software incorpora el modelo de bloques en conjunto con un GPS, por lo tanto, los operadores podrán ver en pantalla qué hay en el sector en el que se encuentran trabajando.

A modo de resumen, la distribución original de las diluciones en la mina es:

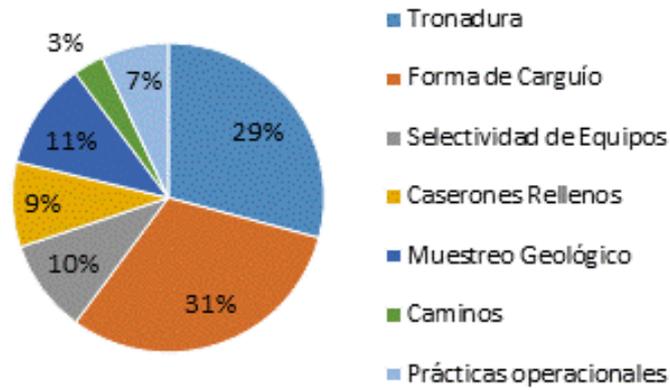


Ilustración 51: Distribución de dilución operacional

Del gráfico anterior, se puede desprender que la forma de carguío, punto que afecta en mayor medida la operación, contribuye en un 31% a la dilución global de la mina; si la dilución global es de un 10%, 3,1 puntos porcentuales son producto de una mala gestión en la extracción del mineral con la flota de equipos existente.

Además, se puede observar que más del 50% de la dilución es provocada por efecto de la tronadura y de la forma de carguío.

7. EVALUACIÓN ECONÓMICA

Hablar de que se tiene entre un 8% y 10% de dilución, significa que se está enviando a la planta de procesamiento un porcentaje menor de cobre que el planificado según el modelo. En palabras más simples:

“Por cada 1000 toneladas de mineral extraídas de la mina, donde la ley de cobre es de 1%, se deberían tener 10 toneladas de cobre puro, sin embargo, solo hay 9 a 9,2 toneladas de cobre”

Así, se tendrá menor cantidad de cobre por cada tonelada de mineral extraída.

Hay que tener en consideración que existe un 5% de dilución que, por ahora, es imposible de disminuir (aquella relacionada al modelo geológico y los polígonos de extracción). Por lo tanto, el objetivo principal es reducir la dilución a un 5%.

Si se envían esas 1000 toneladas a chancado y se considera, además, que la recuperación promedio de la planta es de un 80%, el ejercicio quedará de la siguiente manera:

Mineral enviado a planta	ton	1000	Mineral enviado a planta	ton	1000
Ley de Cu	%	1	Ley de Cu	%	1
Dilución	%	10	Dilución	%	5
Cobre enviado a planta	ton	9	Cobre enviado a planta	ton	9.5
Recuperación planta	%	80	Recuperación planta	%	80
Cobre recuperado	ton	7.20	Cobre recuperado	ton	7.60

Tabla 14: Cobre recuperado, 10% y 5% de dilución

Se puede observar que, si no existiera dilución, se recuperarían 800 kg más de cobre.

El plan minero del El soldado, para el año 2014, establece:

Item	Unidad	Valor
Roca minada	Mton	58.96
Remanejo	Mton	5.49
Total roca movida	Mton	64.45
Pre-Stripping	Mton	2.1
Mineral minado sulfuros	Mton	4.39
Mineral procesado sulfuros	Mton	5.96
Ley mineral sulfuros	%	0.58
Recuperación	%	77.04

Tabla 15: Plan Minero 2014 - El Soldado

De la tabla anterior se desprende que se envían a procesamiento 5.96 Mton de mineral, con 0.58% de Cu. El ejercicio de la Tabla 14 con estos nuevos valores arroja:

Mineral enviado a planta	ton	5,960,000	Mineral enviado a planta	ton	5,960,000
Ley de Cu	%	0.58	Ley de Cu	%	0.58
Dilución	%	10	Dilución	%	5
Cobre enviado a planta	ton	31,111	Cobre enviado a planta	ton	32,840
Recuperación planta	%	77.04	Recuperación planta	%	77.04
Cobre recuperado	ton	23,968	Cobre recuperado	ton	25,300

Tabla 16: Cobre recuperado según plan 2014

En el ejercicio anterior no se ha incurrido en ningún gasto extra, puesto que se está enviando la misma cantidad de mineral desde la mina a la planta. Solo se está modificando la cantidad de cobre que efectivamente va en esta masa mineral. Así, solo se tendrán mayores beneficios.

Si se usa un precio del cobre de 3.15 USD/lb (valor usado en la planificación del plan minero 2014), se tiene un ingreso adicional de **\$9,25 MUSD**.

Finalmente, de los 71 MUSD de pérdidas que tendrá la mina el 2014, solo se estarían perdiendo 62 MUSD.

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1. Dilución planificada

Es poco lo que se puede hacer por mejorar la dilución planificada porque, tal como dice su nombre, es un tipo de condición con la que se sabe se tendrá que trabajar desde el día uno, es parte de la planificación de la operación. Pero no se debe atacar como si fuera un problema sino que es necesario aprender a convivir con ella.

Incursionar en diferentes y/o nuevos Softwares para minería siempre es un buen comienzo para tener una amplia variedad de escenarios y poder decidir cuál es el que se aplica mejor a nuestro caso.

8.1.1. Dilución inherente del modelo geológico

Esta dilución es parte de las características propias del macizo y la mineralogía del sector, por lo tanto sería irresponsable decir que se puede eliminar cuando es poco probable, por no decir imposible, separar del todo el mineral y el lastre. La opción para disminuir su impacto es, como se ha abordado en El Soldado, intentar incorporar la dilución inherente al modelo de planificación de modo que la información con la que se trabaja en el día a día (tonelajes extraídos y leyes asociadas), sea lo más cercana a la realidad posible, evitando así desviaciones en las conciliaciones mina – planta.

Por otra parte, es de suma importancia elegir un buen método para llevar el modelo geológico al modelo de planificación, tratando de disminuir las sub y sobre estimaciones, debido a que esta decisión repercutirá directamente en la secuencia de extracción que la mina decida seguir.

8.1.2. Dilución por definición de polígonos de extracción

Este tipo de dilución está 100% ligada a la geometría y dimensiones de los cuerpos mineralizados y a las dimensiones de los equipos de carguío utilizados en la mina. El planificador tendrá que hacer uso de su ingenio y experiencia para poder idear una secuencia de extracción adecuada y tamaño de polígonos adhoc para disminuir las pérdidas minerales en los bordes de los disparos, y en las zonas de borde estéril/mineral.

8.2. Dilución operacional

La dilución operacional, a diferencia de la planificada, puede ser manejada en la mina de manera para disminuirla. No es una tarea fácil, sobre todo porque se requiere coordinar múltiples disciplinas: perforación y tronadura es una superintendencia aparte de carguío y transporte, la tronadura está a cargo de la empresa colaboradora ENAEX, y existen prácticas operacionales arraigadas en los trabajadores muy difíciles de modificar.

8.2.1. Dilución por tronadura

La dilución por tronadura conforma uno de los mayores puntos de dilución en la mina. En este trabajo no fue analizada a cabalidad la tronadura en sí, pero sería un muy buen tema de memoria el que se pudiera tener una cifra más cercana a la realidad de cómo reacciona el macizo a diversas mezclas de explosivos, además de distintas configuraciones de taco, pasadura y cantidad de explosivo utilizado.

Es imposible eliminar la dilución en este punto, puesto que la tronadura es y seguirá siendo una de las operaciones unitarias básicas de la minería. Sin embargo, se podría disminuir su impacto realizando estudios respecto de los tiempos de iniciación y la orientación de salida de las voladuras, de manera tal que el material quede segregado y no mezclado.

8.2.2. Dilución por forma de carguío

La forma de cargar debiese seguir un estándar en las diferentes faenas alrededor del mundo, y ciertamente, dejar una pata con material que tendrá ser cargado en conjunto con el disparo siguiente no debería ser parte de esos estándares.

Es de tan fácil solución este problema que resulta poco creíble que no se haya resuelto. Puede deberse a una débil supervisión de parte de los jefes al desempeño de los operadores de palas, o a no fiscalizar correctamente cómo quedan los disparos y las frentes luego de ser extraídas.

Con tal solo solicitar el uso de cargadores frontales pequeños fue posible disminuir en más de 50% la dilución respectiva. Es cierto que requiere de un costo adicional de operación (por el equipo extra que se está usando), además de un poco más de tiempo de trabajo, pero la frente queda despejada y se logra recuperar gran parte del mineral.

8.2.3. Dilución por selectividad de equipos de carguío

Totalmente vinculada al tamaño de los equipos mina, es poco lo que se puede hacer si ya se cuenta con cierto tipo de maquinaria en la operación. Lo ideal sería poder planificar de mejor manera la compra de estos equipos en las etapas del proyecto, pero una vez realizada la adquisición se debe aprender a trabajar con las herramientas que se tiene. Así, es una buena práctica determinar qué sectores de la mina requieren mayor precisión de extracción, dejando que los equipos de menor tamaño trabajen allí. En el caso de El Soldado, es de suma importancia lograr extraer la mayor cantidad de mineral, por lo tanto las palas PC 5500 deben extraer el mineral y las PC 8000 el estéril.

Esta simple modificación, logró reducir la dilución de un 7% a un 3%.

8.2.4. Dilución por caserones rellenos

El Soldado operó hace pocos años como mina subterránea además de su minería a cielo abierto, por lo tanto, existen caserones de grandes envergaduras que interfieren con la operación normal del rajo. Para evitar contratiempos de cualquier tipo, se deben tener identificadas las excavaciones con antelación para planificar su relleno, ya sea por temas de seguridad y/o para la extracción.

Estos caserones poseen en su cascarón mineral de cobre de buenas leyes, por lo que el material debe ser enviado a planta para su procesamiento.

Dado el poco mineral que existe en El Soldado sobre la ley de corte (0.30% de Cu), es imposible rellenar las cavidades con mineral y tener así un material de leyes de Cu más homogéneas, sin embargo, hay gran cantidad de estéril de buena ley (o mineral de muy baja ley, 0.20% de Cu). Usar este material para realizar los rellenos generará menores diluciones al momento de la extracción del mineral de las cavidades.

8.2.5. Dilución por error de muestreo geológico

Lamentablemente, por problemas de coordinación y tiempo, fue imposible medir la dilución por efecto de errores en el muestreo. Este punto es sumamente relevante, puesto que catalogar de manera equivocada los sectores de mineral cambia radicalmente los planes operativos y de producción.

Sería sumamente provecho poder realizar el estudio completo de cómo se realizan los muestreos, cada cuanto existe errores en la categorización, y cómo repercute en los planes mineros.

8.2.6. Dilución por caminos

Con el fin de obtener mejor rendimiento de los equipos y cuidar sus neumáticos, se hace necesario emparejar caminos y rampas de acceso. Para ello, se rellenan las imperfecciones con estéril, generando que los sectores minerales vean su ley disminuida.

La solución más próxima es el relleno de los sectores mineralizadas con mineral de muy baja ley (0.20% de Cu). La dificultad de llevar a cabo lo anterior recae en que los costos de remanejo del mineral para relleno sobrepasarían los costos actuales, generando mayores pérdidas.

8.2.7. Prácticas operacionales

Este último punto es de los más simples. Si se habla netamente del desempeño de los trabajadores que operan los equipos y cómo ellos manejan la extracción, la manera más fácil de hacerles trabajar bajo ciertos estándares es realizarles diversas capacitaciones. Y no una sola vez. Por otra parte, siempre es bueno reforzar aquellas prácticas operacionales dignas de repetir, pudiendo ser con un reconocimiento de parte del jefe o frente a sus pares; un trabajador contento y que siente que otorga valor a la empresa, entregará mejores resultados.

Por otra parte, el control de mineral, tanto el procedimiento como los supervisores a cargo de llevarlo a la práctica, son relativamente nuevos. En El Soldado no se utilizaba el control de mineral, y solo se extraía con el jefe de turno dando indicaciones iniciales y después cada operador maneja su plataforma y frente. Ahora el sistema ha cambiado y es necesario darles a conocer a todos los trabajadores involucrados cuales son los objetivos que persigue y cómo funciona. No se puede esperar que por inercia las personas aprendan un protocolo totalmente nuevo, y mucho menos, sin tener inconvenientes. Además, como todo lo nuevo, pasará en un período de cambios, donde sería recomendable aceptar críticas de todos los sectores, de modo que se pueda crear un protocolo de control que sea entendido y respetado por la globalidad de la empresa.

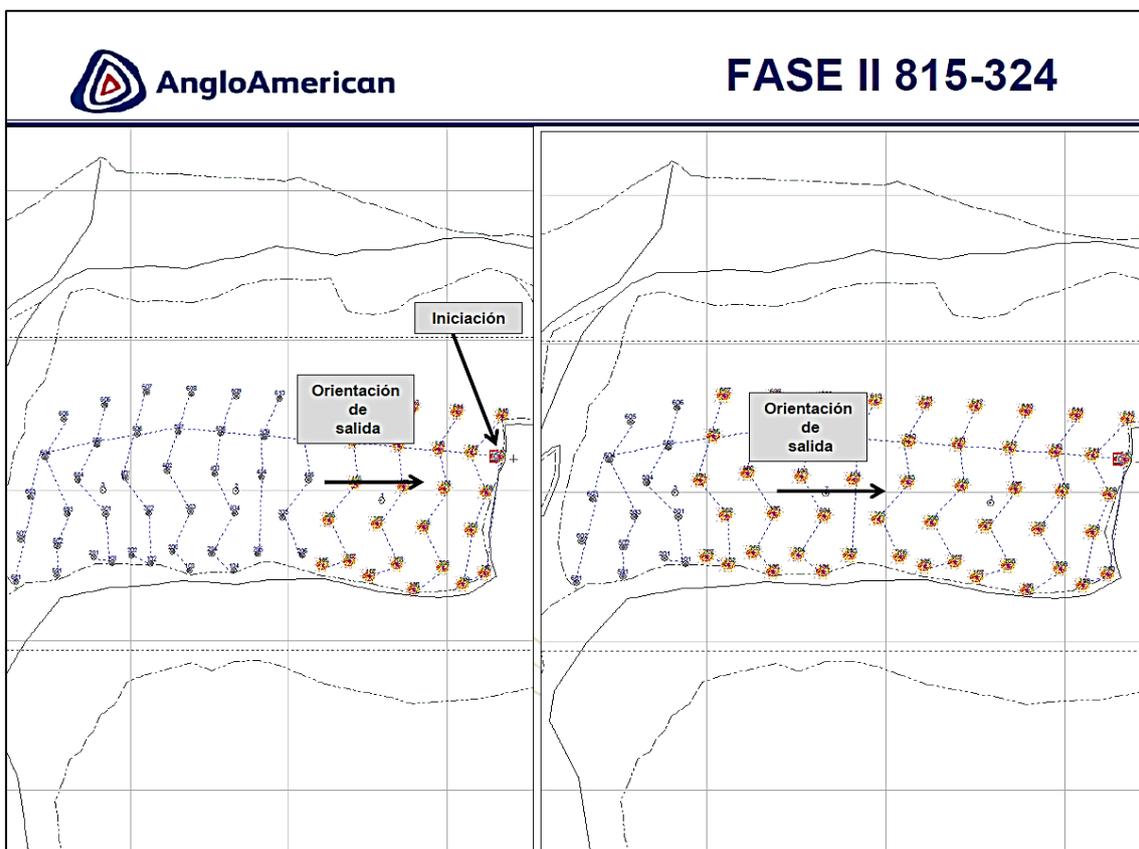
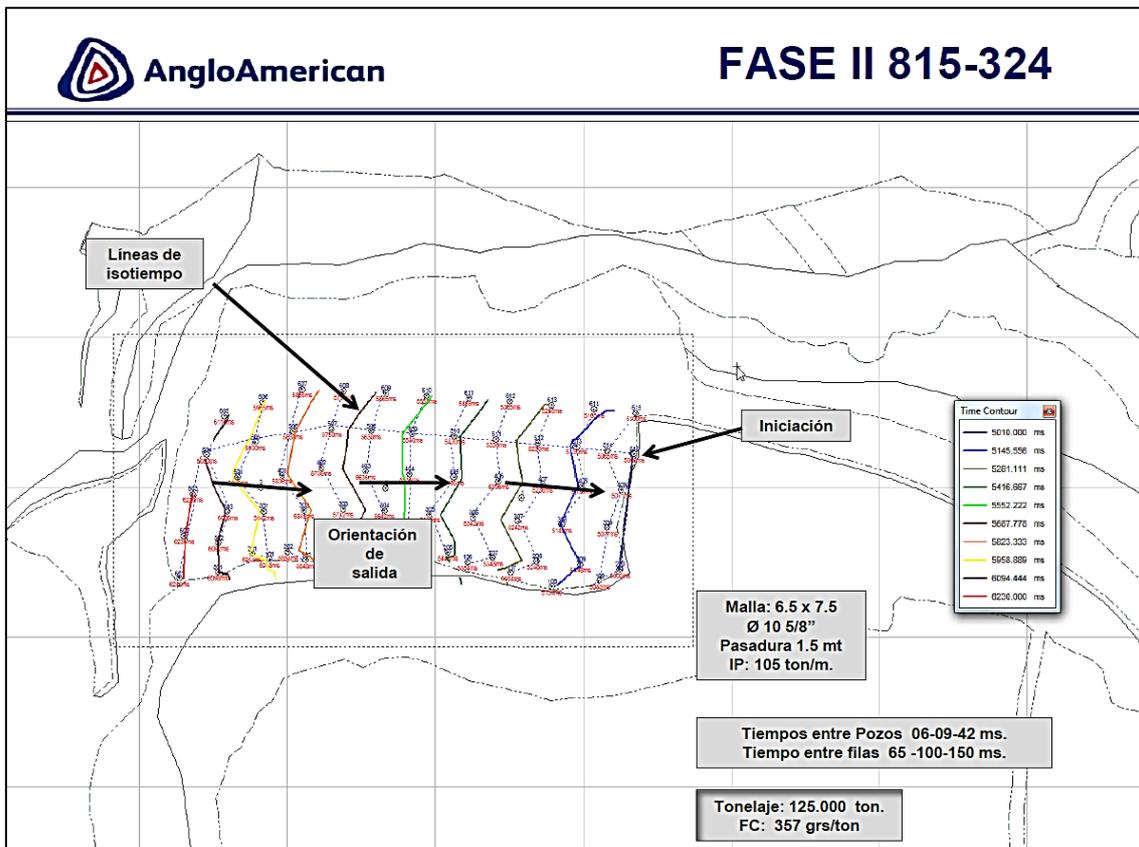
Finalmente, se modificó el sistema de despacho, de Modular a Jigsaw, con lo cual se pudo instalar el software en todos los equipos e incluir el modelo de bloques y GPS. Con esto se generó mayor precisión en las operaciones de carguío, aunque aún se requiere que los operadores estén familiarizados con el nuevo sistema de despacho (lo que se está realizando por medio de diferentes charlas y capacitaciones).

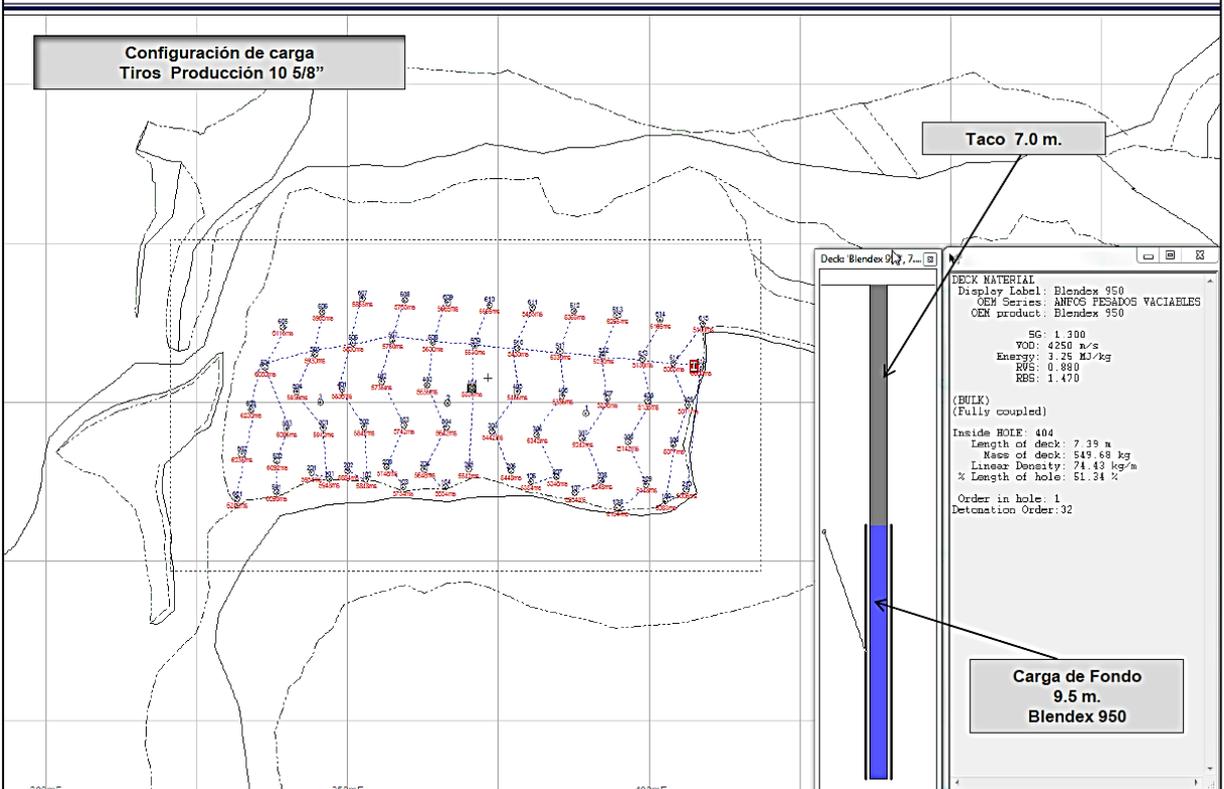
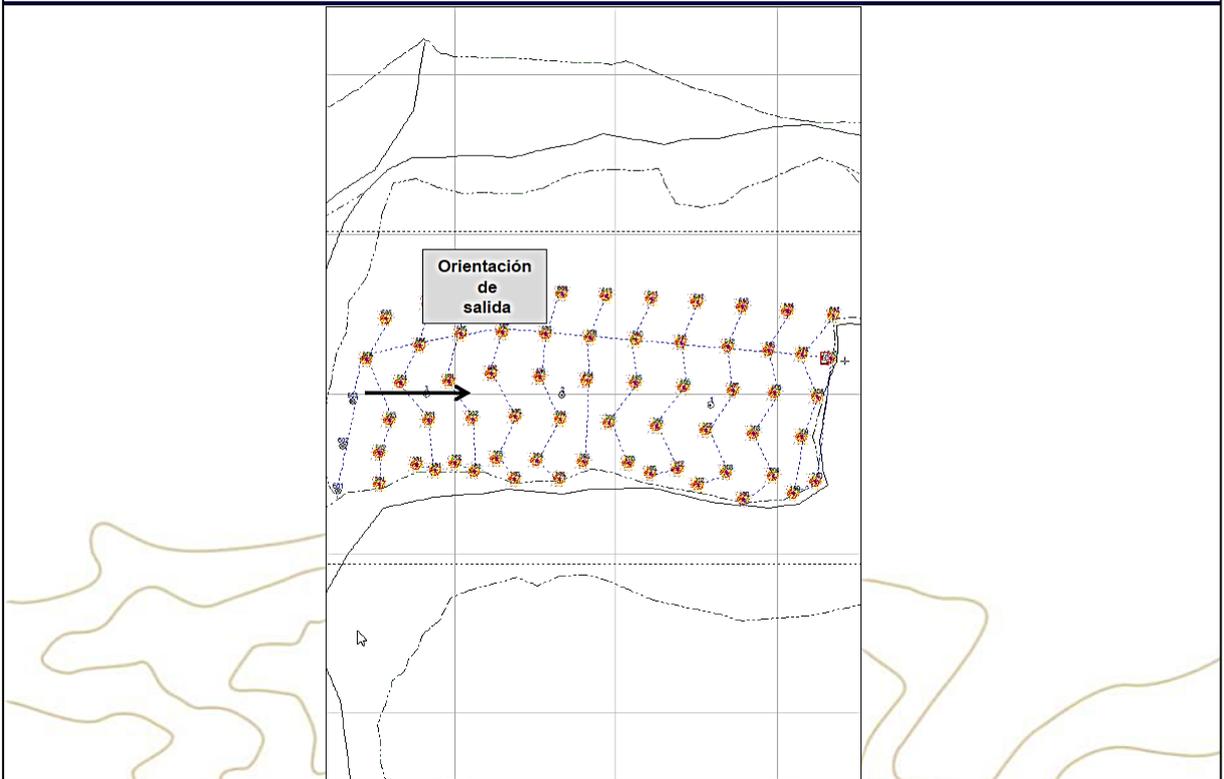
9. BIBLIOGRAFÍA

- [1]. A. Vásquez, B. Galdames y R. Le Feaux “Apunte del Curso MI-58A Diseño de minas a cielo abierto”, Universidad de Chile (1996)
- [2]. B. Cebrián Romo “Técnicas de voladura para control de dilución en minería metálica”, XII Congreso internacional de energía y recursos minerales (Octubre 2007)
- [3]. C. Morales “Metodología de planificación de corto plazo integrando restricciones geometalúrgicas” Memoria para optar al título de ingeniero civil de minas, Tesis para optar al grado de magister en minería, Universidad de Chile (2009)
- [4]. E. Rubio “Clase 04 – Diseño Minero”, Universidad de Chile (2011)
- [5]. E. Rubio “Block cave mine infrastructure reliability applied to production planning” Thesis Ph. D., Vancouver, Canada, University of British Columbia (2006)
- [6]. Empresa NCL “Reporte de simulación de dilución y determinación de la velocidad y desplazamiento del material tronado” (Agosto 2009)
- [7]. F. Peña “Metodología para evaluar la dilución operativa en minería a cielo abierto” Memoria para optar al título de ingeniero civil de minas, Universidad de Chile (2007)
- [8]. Gerencia general El Soldado “Lombook 2013”, Anglo American (Diciembre 2013)
- [9]. Gerencia mina El Soldado “Manual de estándares operacionales ”, Anglo American (Enero 2011)
- [10]. Gerencia mina El Soldado, Control de gestión “Informe mensual rajo abierto”, Anglo American (Marzo 2014)
- [11]. J. Contreras “Simulación considerando estadísticas de múltiples puntos para modelar la dilución de corto plazo” Memoria para optar al título de ingeniero civil de minas, Universidad de Chile (2009)
- [12]. J. Gonzáles, R. Ahumada y F. Abarzúa “Actualización modelo de recursos de El Soldado ”, Anglo American (Abril 2013)
- [13]. J. Ortiz y X. Emery “Apuntes del curso MI-54A Evaluación de yacimientos y MI-68A Geoestadística”, Universidad de Chile (2004)
- [14]. M. Hernández “Manual de operación de la estación total” (2011)
- [15]. P. Perrier “Ore reserves and mineral resources El Soldado mine”, Anglo American (Diciembre 2013)
- [16]. R. M. Srivastava “Probabilistic Modeling of ore lens geometry: An alternative to deterministic wireframes” Mathematical Geology Vo. 37, No 5 (2005)
- [17]. Superintendencia de geología, gerencia de desarrollo y proyecto “Modificaciones modelo de estimación 2012 El Soldado”, Anglo American (Julio 2012)

10. ANEXOS

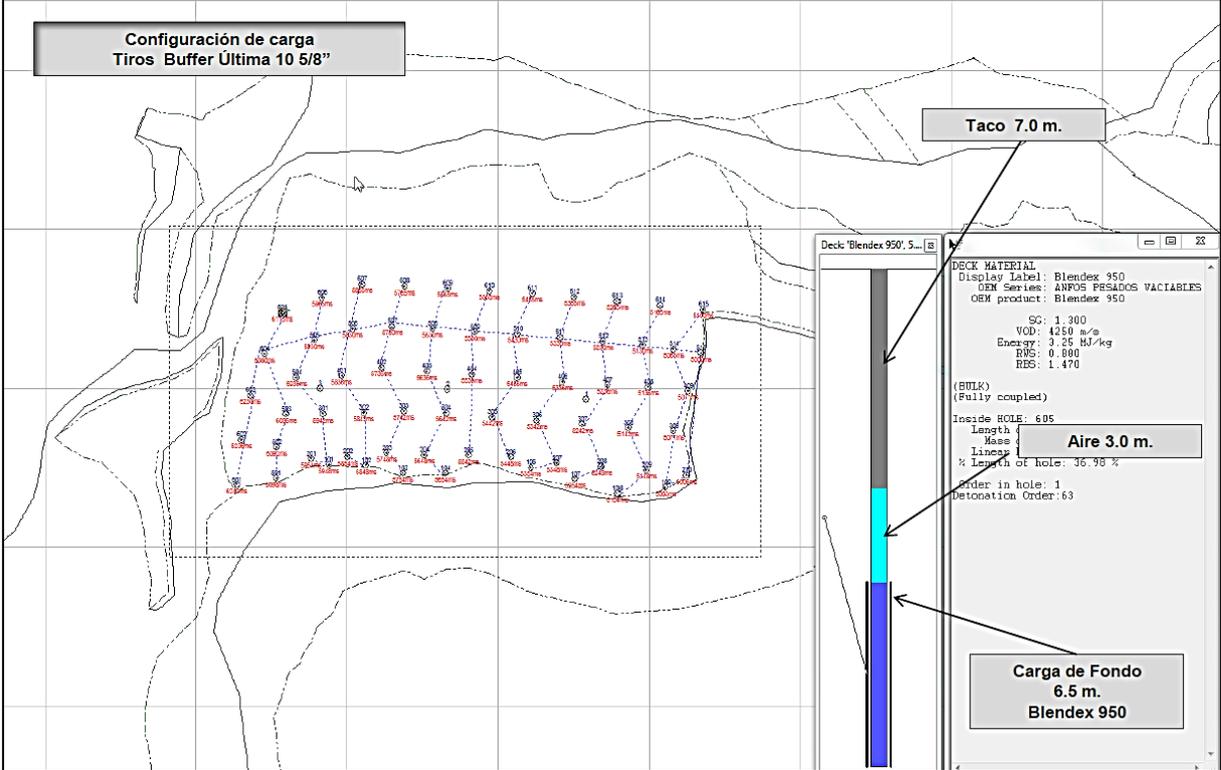
A. Resultados prueba de tronadura con tubos de PVC



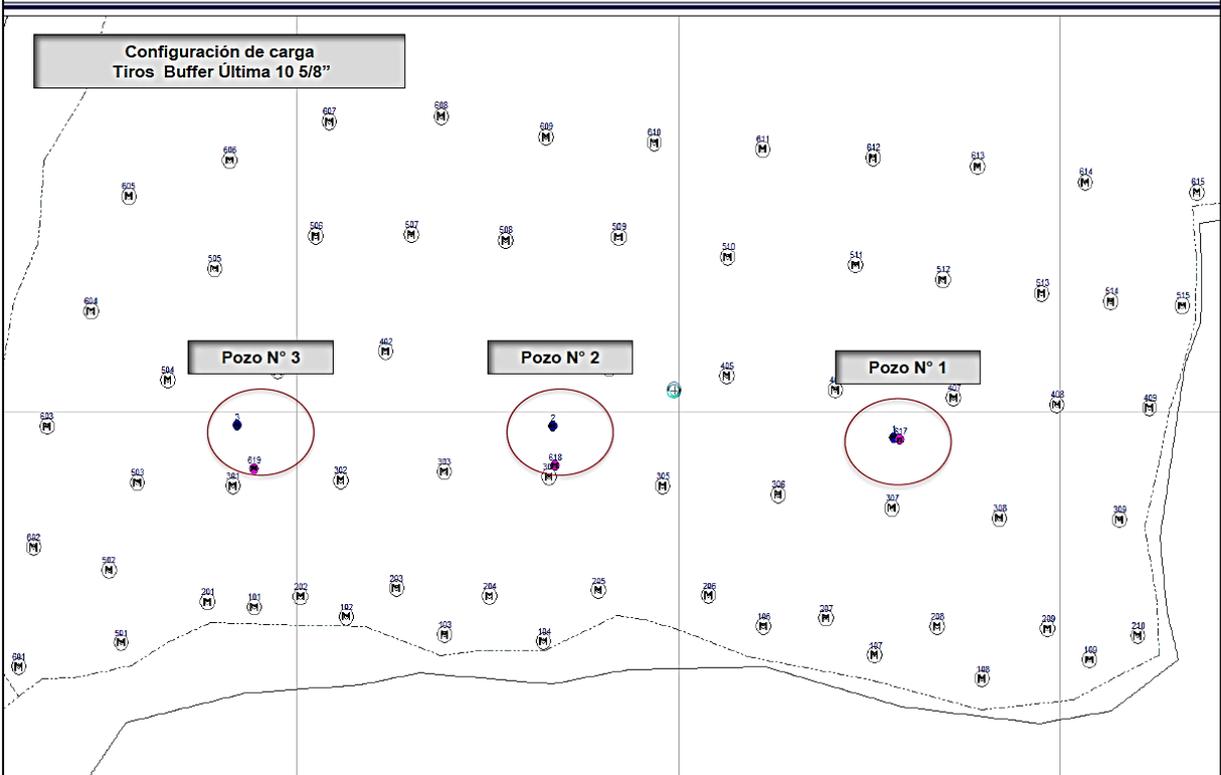


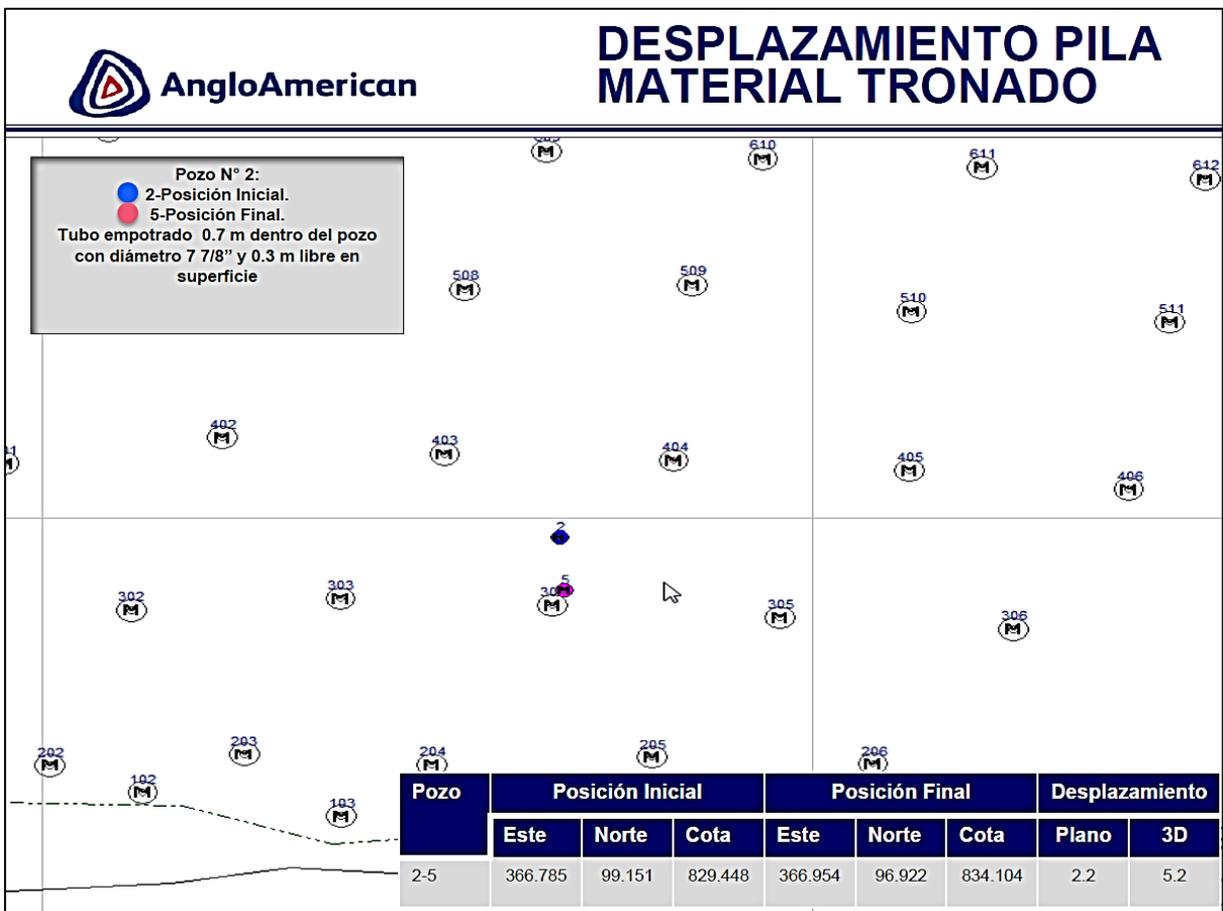
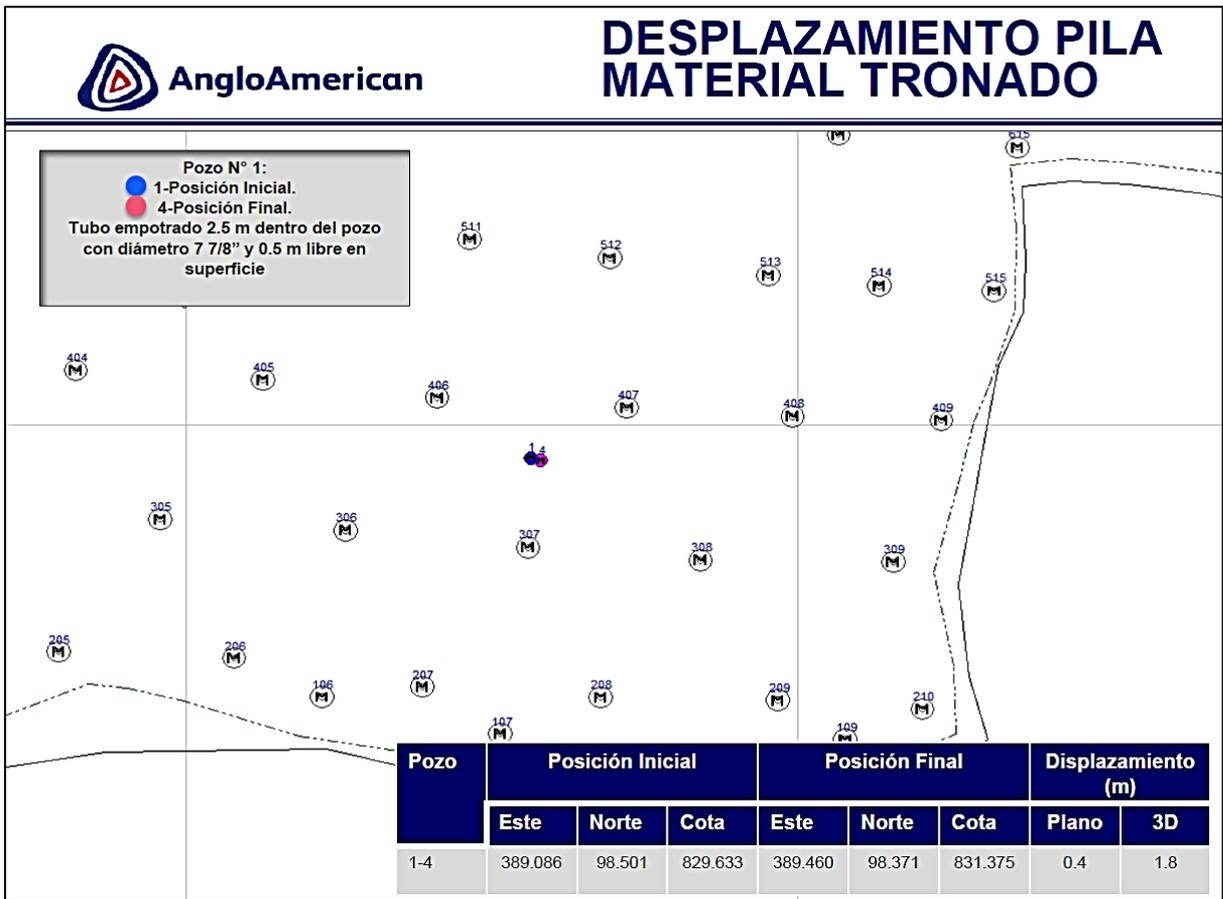


FASE II 815-324



FASE II 815-324

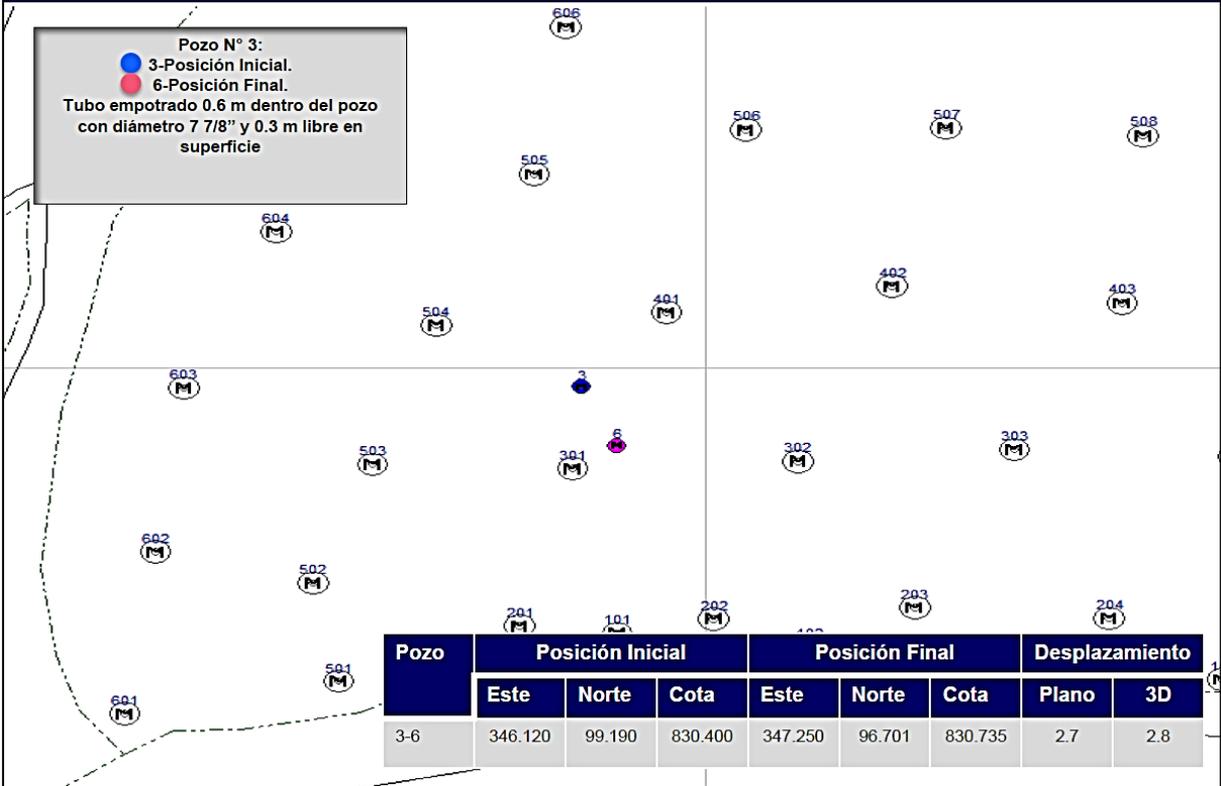






DESPLAZAMIENTO PILA MATERIAL TRONADO

Pozo N° 3:
 ● 3-Posición Inicial.
 ● 6-Posición Final.
 Tubo empotrado 0.6 m dentro del pozo con diámetro 7 7/8" y 0.3 m libre en superficie



Pozo	Posición Inicial			Posición Final			Desplazamiento	
	Este	Norte	Cota	Este	Norte	Cota	Plano	3D
3-6	346.120	99.190	830.400	347.250	96.701	830.735	2.7	2.8

B. Procedimiento de control de mineral

Contenido

- i. OBJETIVO.
- ii. ALCANCE.
- iii. TERMINOLOGÍA.
- iv. RESPONSABILIDADES.
- v. EQUIPOS DE PROTECCION PERSONAL Y MATERIALES.
- vi. IMPACTOS AL MEDIO AMBIENTE.
- vii. DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD.
- viii. ACTIVIDADES.
- ix. REQUERIMIENTOS LEGALES APLICABLES.
- x. ANALISIS DE SEGURIDAD DEL TRABAJO.
- xi. ANEXOS

i. Objetivo

Establecer los pasos necesarios para ejecutar la actividad de control de mineral de forma segura, establecer la calidad de la tarea y prevenir eventos no deseados. Actividades: Control de Mineral tronado y stocks, en el área interior mina.

ii. Alcance

Aplicable a todo personal de la Unidad de Control de Mineral, geólogo de producción y asistente de geólogo.

iii. Terminología

No Aplica.

iv. Responsabilidades

Geólogo de Producción

Debe liderar todas las actividades relacionadas con la Salud Ocupacional, Seguridad, Medio Ambiente y Calidad en el grupo de trabajo asignado; además de solicitar y asignar los recursos humanos y materiales necesarios para la realización de las actividades operativas y administrativas.

Velar por la adecuada capacitación y retroalimentación del personal en el presente procedimiento. Controlar y Administrar los Riesgos Operacionales para que todo el personal a su cargo, realice los trabajos de acuerdo a los estándares establecidos en este procedimiento y en Anglo American.

Exigir el uso de todos los elementos de protección personal, de acuerdo a los riesgos asociados a las áreas operativas.

Tomar acción inmediata cuando existan anomalías o desperfectos que puedan afectar el normal cumplimiento de las tareas.

Asesor en Prevención de Riesgos

Es el responsable de velar por el cumplimiento de las normas y estándares, capacitando al personal en la correcta aplicación de este procedimiento.

Asistente de Geólogo

Debe apoyar al geólogo de producción en el cumplimiento del presente procedimiento, así como apoyar las distintas actividades para un correcto desarrollo de las tareas que esta actividad implica.

Controlador de Mineral

Debe aplicar el presente procedimiento a sus actividades y tareas asignadas.

v. Equipos de protección personal y materiales

Los equipos de protección personal a utilizar son:

- Guantes de cuero.
- Calzado de Seguridad 12,5 cm. (para esta fase recomiendo bota doble sobre nivel de tobillo ya que hay mucha exposición a camino / piso irregular)
- Casco de Seguridad.
- Barbiquejo
- Lentes de Seguridad foto cromáticos.
- Chaleco reflectante.
- Cremas protectoras de radiación UV.
- Ropa de trabajo del tipo térmico adecuada para este tipo de terreno (periodo de invierno 1 ° Capa.)
- Respirador 2 vías con filtro de polvo o mixto (si lo requiere).
- Protector de oídos, tipo fono (si lo requiere).
- Cubre nuca.

Mientras que los materiales y equipos necesarios para realizar la labor de control son:

- Radio portátil, con frecuencias usadas en la mina.
- Camioneta 4x4 con radio base con manos libres, equipada de acuerdo al reglamento de Angloamerican.
- Mapera para control de planos.
- Planos de zonas de extracción y de las áreas de stocks
- Lupa, Martillo, Lápices de Colores
- Carpetas para respaldo de Informe de Turno.
- Formato AST
- Linterna
- Bolsas de 50x70.

vi. Impactos al medio ambiente

Existe un impacto por contaminación de desechos no biodegradables, contaminación por gases de camioneta, pero estas posibles contaminaciones son mínimas. Para controlar el manejo de residuos se debe aplicar el procedimiento Manejo de Residuos.

vii. Descripción de la actividad

Seguridad

- Chequeo del vehículo requerimientos AFRS.
- Dirigirse al sector a velocidad prudente, atenta a las condiciones del camino y del entorno, en coordinación con los vehículos de carga, equipos de mantenimiento de caminos y otros usuarios de las vías.
- Para ingresar a la mina, se debe estar autorizado con tarjeta de acercamiento vigente.
- Realizar AST antes de Ingresar a las zonas tronadas.
- Realizar siempre los 5 pasos.

Control de Mineral

- Revisión del sector donde se realizaron los trabajos.
- Llegada a bancos e ingreso a zonas tronadas con precaución.
- Mantener siempre comunicación radial con los operadores de equipos pesados.
- Revisión de las marcaciones de las zonas en extracción.
- Retiro del sector: dando aviso vía radial al operador de equipo o personal en el área.
- Realizar revisión de las áreas de perforación y muestreo.
- Realizar Informe de turno, realizar revisión de tonelajes movidos con controlador de despacho al finalizar el turno.
- Tomar fotografías de las áreas de mineral en extracción.
- El tránsito sobre el material tronado (esponjado, quebrado, seco), se debe realizar con precaución con el fin de evitar lesiones.

viii. Actividades

Control de Extracción

Esta actividad se puede realizar tanto de día como de noche. Se realizará chequeo de zonas mineralizadas con el objeto de que, una vez llegando al sector el equipo de carguío, respete las zonas demarcadas por topografía y designadas por geólogos encargados, verificando con el plano diario entregado por la Superintendencia de Geología.

Se debe mantener un límite de seguridad con el borde del sector de extracción de 5 metros.

Las zonas mineralizadas son demarcadas con banderas de colores, según el instructivo de marcación de zonas minerales. Las banderas identifican según colores los límites de las zonas y el tipo de zona mineral (mineral de alta ley, mineral de baja ley, mineral oxido, estéril).

Revisión de perforación y muestreo de pozos de tronadura

Esta actividad se puede desarrollar tanto de día como de noche. Para el ingreso al sector de perforación se debe cumplir con el procedimiento establecido, el cual consiste en solicitar autorización vía radial frecuencia 4 al operador de la perforadora, para chequear visualmente la malla de perforación y si esta se encuentra muestreada por personal de muestreo.

Se chequea visualmente si los pozos corresponden al disparo y a la identificación que indica en el registro que entrega topografía.

Control de Stocks

En cada turno, el controlador de mineral debe visitar las zonas de stock para comprobar el estado en que estas se encuentran y como se esta desarrollando la extracción del mineral acopiado en cada uno de los stocks. Debe verificar la ley del stock y la correcta asignación de descarga y carga con apoyo del controlador de despacho. Debe dejar registro fotográfico. El controlador tiene la autorización de cancelar el envío o descarga en un stock según evaluación de las condiciones en que se encuentre este.

Revisión de Tonelajes y elaboración de Informe de Turno

Antes de finalizar el turno, se deben revisar los tonelajes de todas las zonas de mineral extraídas desde la mina con apoyo de controlador de despacho, tanto a la planta como a los stocks, dejando en el sistema Dispatch la información correcta de los movimientos del turno. Se debe completar el informe de turno y enviar con copia al geólogo de turno y asistente de geólogo, dejando copia en la carpeta de informe de turno.

Actividades Varias

En este grupo de actividades se consideran actividades de apoyo en terreno para marcaciones de zonas remanentes, muestreos específicos en las tronaduras, muestreos de stocks, etc.

ix. Requerimientos legales aplicables

- Ley 18.290/87 "Ley del Tránsito".
- D.S. 72 Reglamento Seguridad Minera Modificado por D.S. N° 132.
- Ley 16.744 Establece Normas Sobre Accidentes del Trabajo y Enfermedades Profesionales.
- D.S. 594 Condiciones Sanitarias y Ambientales Básicas en los lugares de trabajo".
- Ley 20.123 Regula el trabajo en régimen de subcontratación, el funcionamiento de las empresas de servicios transitorios y el contrato de trabajo de servicios transitorios.
- Ley 19.300 Sobre Bases Generales del Medio Ambiente, Modificada por la ley 20.173 del 2007.
- Ley N° 20.096 de 2006 Establece Mecanismos de Control Aplicables a las Sustancias Agotadoras de la Capa De Ozono.
- Decreto Supremo N° 18 Certificación de calidad de los Elementos de Protección Personal contra riesgos ocupacionales.
- Ley N° 18.410, Orgánica de la Superintendencia de Electricidad y Combustibles, y el Decreto con Fuerza de Ley N° 1, de 1982, de Minería, Ley General de Servicios Eléctricos, con el objeto de fortalecer el régimen de fiscalización del sector.

x. Análisis de seguridad del trabajo

En caso de falla o cambio en el trabajo, comunicarse con supervisor o jefe de área, con el fin de analizar nuevamente sus riesgos y ejecutar el trabajo.

En caso de emergencias, ya sea por fallas de camioneta, accidentes u otros, debe comunicarse por radio con el supervisor encargado o jefe directo. De no ser posible, se debe comunicar con Prevención de Riesgos vía teléfono o radio.

SECUENCIA DE TRABAJO	EVENTOS NO DESEADOS	CONTROL DE RIESGOS
1.0.- Ingreso a mina	<p>1.- Desconocimiento normativa interna de operación mina.</p> <p>1.1.- Pane del vehículo dentro del rajo.</p> <p>1.2.- Ingresar a sectores sin autorización</p> <p>1.3.- Choque, colisión, atropello, volcamiento.</p> <p>1.4.- Tener y portar</p>	<p>1.- Curso de conducción e inducción mina. (dejar registro) Dominar reglamento uso de vehículo.</p> <p>1.1.- Realizar la pauta de chequeo diario de los vehículos antes de ingresar a la mina (Check List).</p> <p>1.2.- Mantener siempre buena comunicación con despacho y con el operador del equipo de carguío siempre en frecuencia 9. Para ingresar al rajo , se debe registrar la tarjeta de identificación en las barreras, tanto para entrar como para salir</p> <p>1.3.- Conducir por la izquierda, solicitar autorización a todos los operadores de maquinaria pesada y vehículos livianos por la vía radial para adelantar, mantener espejos y vidrios limpios, usar cadenas si es necesario (periodo Invernal), mantener comunicación radial por frecuencia 9 en todo momento y conducir a la defensiva.</p> <p>1.3.1.- Si el conductor se encuentra ausente por un mes o más debe ser inducido nuevamente, por otro conductor, dejar registro.</p> <p>1.4.- contar con licencia para el rajo .</p> <p>1.5.- Estar atento a los comunicados de alertas, vía radio frecuencia 4</p>
	2.2 Derrumbe.	2.2.- Verificar las condiciones del piso de la tronadura y el entorno del sector. Además de las paredes de los bancos adyacentes. No acercarse a los bancos fracturados o con riesgos de desprendimiento de rocas a menos de 5 mts.

	<p>2.3.- Atropello, colisiones</p> <p>2.4.- Golpeado por o contra</p>	<p>2.3.- La camioneta debe estacionar fuera del sector tronado o esponjado, lejos de perforadoras, camiones de explosivo y equipos de extracción.</p> <p>2.3.1.- Nunca se debe ingresar a zonas delimitada mediante conos por ENAEX. (Cargadas con explosivos).</p> <p>2.3.2.- En caso de ingresar a un área donde esté trabajando un equipo minero, se debe solicitar autorización al operador, en caso de bloqueo de área habrá letrero de aviso.</p> <p>2.3.4- Estrictamente prohibido ingresar a sectores bajo bancos con viseras o cargas suspendidas (reglas de oro N°7).</p> <p>2.4.- Permanecer atento a las condiciones del entorno, observando posibles caídas de piedras o rocas.</p>
<p>3.0.- Ingreso a sectores tronados (esponjados).</p>	<p>3.0.-Condiciones atmosféricas desfavorables (Exposición polvo, bajas temperaturas y ruido).</p> <p>3.1.- Caídas al mismo o diferente nivel, Esquince.</p>	<p>3.0.- Uso de equipos de protección respiratorio de 02 vías con filtro P100. Ropa adecuada en invierno, parka, Usar protector auditivo adosado al casco.</p> <p>3.1.- Al ingresar al sector tronado no aproximarse a menos de 5 mts del borde de la tronadura, y con mayor razón si el palero está cargando camiones de extracción, caminar concentrado colocando atención a las grietas, rocas sueltas y desniveles, apoyando con un coligue. No subir o transitar sobre material tronado con granulometría mayor a 0,5 cms (bolones). Hacer contacto visual (señal de mano) con operador de equipo.</p> <p>3.2.- Estar atento y concentrado a las condiciones de la superficie de trabajo (Piso irregular y material Suelto). Considerar uso de zapatos caña alta tipo bota, abrochado hasta arriba ultimo ojete .</p>

	<p>3.3.-Desprendimiento de material.</p> <p>3.4.- Quemaduras por rayos UV</p>	<p>3.3.- Estar atento a las condiciones de la pared del banco, por presencia de viseras, material suelto, rocas colgadas.</p> <p>3.4.- Uso de crema protectora UV, cada 4 hrs .Uso de camisa manga larga, lentes foto cromáticos y cubre nuca en el caso que se requiere.</p>
4.0.- Toma de fotos en la frente de carguío.	<p>4.0.- Caídas al mismo o diferente nivel.</p> <p>4.1.- Deficiencia de calidad en la foto</p> <p>4.2.-Atropellamiento.</p> <p>4.3.- Colisión</p>	<p>4.0.- Estar atento al transitar por el material tronado, no acercarse a los bordes de los bancos (distancia a 5 mt, desde la orilla del banco y avance de frente de carguío). No subir o transitar sobre material tronado con granulometría mayor a 0.5 mts. (Bolones).</p> <p>4.1.- Entender que se toman las fotos para maximizar el trabajo realizado. Concentración.</p> <p>4.2.- Solicitar la autorización al operador del equipo minero de carguío. El conductor debe desplegar máxima concentración visualizando al resto de sus compañeros y efectuando un desplazamiento seguro, y asegurarse del contacto.</p> <p>4.3.- Una vez dentro del vehículo, dar aviso por canal abierto, a los operadores de los equipos mineros presente en el área, al término del trabajo y salida del lugar, si es posible contacto visual.</p>
5.0.- Chequeo del punto de tronadura.	5.0- Caídas al mismo o diferente nivel	5.0.- Estar atento al transitar por el material tronado, no acercarse a los bordes de los bancos (distancia a 5 mt, desde la orilla del banco y avance de frente de carguío). No subir o transitar sobre material tronado con granulometría mayor a 0.5 mts.

xi. Anexos

Colores de banderas en zonas minerales

NUEVO COLOR SEPARACIÓN DE TRONADURAS**OBJETIVO:**

Difundir a toda la operación mina los nuevos tramos de leyes de zonas minerales, en función de agregar un nuevo color en las banderas de marcación para distinguir las zonas de más alta ley y, en segundo lugar, reforzar la importancia de la marcación y correcta extracción de zonas minerales.

ACTIVIDADES:

1	Se comunica a la operación que se agrega un nuevo color de bandera que identificará las zonas con ley desde 1,0% a 2,0% de CuT, las cuales son las que proporcionan mineral para sustentar la ley de los programas mensuales. <u>El color es rosado fosforescente.</u>
2	Se adjunta en el presente instructivo los nuevos tramos de ley identificados por las banderas, de acuerdo al efecto de agregar un color más. <u>Revisar hoja 2 del presente instructivo.</u>
3	Se debe hacer una difusión de los nuevos tramos de ley, en los distintos turnos, a los grupos de operadores de equipos de carguío, topografía, control mineral y a todo el personal que participe en la marcación y extracción de zonas minerales. El grupo de operadores, topografía y controladores de mineral deben firmar una charla de re-instrucción.
4	Se difundirá, en las próximas semanas, una tarjeta de bolsillo con los colores de las banderas y las zonas minerales que representan, para que cada participante en el proceso de extracción las tenga y recuerde la modificación que se ha realizado. Se adjunta información de las leyes de los Stocks utilizados actualmente. <u>Revisar hoja 3 y 4 del presente instructivo.</u>

BANDERAS DE MARCACIÓN ZONAS MINERALES:

Bandera color rosado fosforescente.

Zonas minerales alta ley \geq (mayor o igual) a 1,0 CuT.



Bandera color verde.

Zonas minerales de óxido.



Bandera color rojo.

Zonas minerales alta ley, desde ley operacional (varía según programa shortheme) a 0,99 de CuT.



Bandera color blanco.

Zonas de estéril.



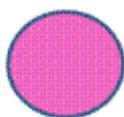
Bandera color anaranjado.

Zonas minerales baja ley, desde ley de corte 0,30 CuT a ley operacional (varía según programa shortheme).

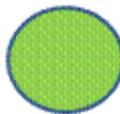


Bandera fondo blanco y líneas rojas.

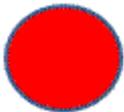
Zonas de NO CARGAR y delimitación de zonas.

INSTRUCTIVO DE BOLSILLO – IDENTIFICACIÓN ZONAS MINERALES:**Bandera color rosado fosforescente.**

Zonas minerales alta ley \geq (mayor o igual) a 1,0 CuT.

**Bandera color verde.**

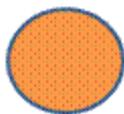
Zonas minerales de óxido.

**Bandera color rojo.**

Zonas minerales alta ley, desde ley operacional (varía según programa shortheme) a 0,99 de CuT.

**Bandera color blanco.**

Zonas de estéril.

**Bandera color anaranjado.**

Zonas minerales baja ley, desde ley de corte 0,30 CuT a ley operacional (varía según programa shortheme).

**Bandera fondo blanco y líneas rojas.**

Zonas de NO CARGAR y delimitación de zonas.

LEYES DE STOCKS MINA:Sector Los Quilos:

1. Stock -300 de Alta Ley:
 - a. Desde 0,91 a 1,20 de CuT: Sector 1
 - b. Desde 1,21 a 2,00 de CuT: Sector 2
2. Stock Tranex de Mediana Ley:
 - a. Desde 0,60 a 0,90 de CuT
3. Stock Los Quilos de Baja Ley:
 - a. Desde 0,30 a 0,59 de CuT

Sector Mina Canelito:

1. Stock SS-10 de Baja Ley:
 - a. Desde 0,30 a 0,59 de CuT

EJEMPLO TARJETA DE BOLSILLO:

AngloAmerican COBRE-EL SOLDADO

**Instructivo de Bolsillo
Identificación Zonas Minerales**

	Bandera Color Rosado Fosforescente. Zonas minerales alta ley >= (mayor o igual) a 1.0 CuT.		Bandera Color Verde, para minerales Oxido.
	Bandera Color Rojo. Zonas minerales alta ley desde ley operacional (varia según programa Shortheme) a 0.99 de CuT.		Bandera Color Blanco, para Esteril.
	Bandera Color Anaranjado. Zonas minerales baja ley, desde ley de corte 0.30 CuT a ley operacional (varia según programa Shortheme).		Bandera fondo blanco y líneas rojas, para marcar zonas con NO CARGAR y delimitar zonas.

Personas que marcan la diferencia en minería

AngloAmerican COBRE-EL SOLDADO

Ley de Stocks Mina.

Sector Los Quilos.

- 1.- Stock -300 de Alta Ley:
Desde 0.91 a 1.20 de CuT Sector 1
Desde 1.21 a 2.00 de CuT Sector 2
- 2.- Stock Tranex de Mediana Ley:
Desde 0.60 a 0.90 de CuT
- 3.- Stock Los Quilos de Baja Ley:
Desde 0.30 a 0.59 de CuT.

Sector Mina Canelito.

- 1.- Stock SS-10 de Baja Ley:
Desde 0.30 a 0.59.

Personas que marcan la diferencia en minería

Ilustración 52: Tarjeta de bolsillo tipo (Anverso y Reverso)

C. Instrumentación topográfica – Estación total

En el estudio de la forma y relieve de la Tierra (Topografía) la ciencia ha ido creando y utilizando instrumentos acorde a sus necesidades, y en la topografía se miden, básicamente, 2 variables: ángulos y distancias (horizontales y verticales).

El teodolito² integra una brújula y un compás para mediciones angulares horizontales, más un cálculo matemático (algoritmo) para medición de distancias de menor precisión. Cuando se requería precisión en las distancias se debía usar una cinta métrica con todas sus limitantes. Para solucionar ese inconveniente surgió el distanciómetro³ laser, el cual calcula la distancia midiendo el tiempo que tarda una laser de ida y vuelta al rebotar sobre una superficie. Además para la medición de ángulos verticales se utiliza un aparato conocido como nivel de precisión⁴.

De estos 3 instrumentos se obtienen lecturas que deben anotarse en una libreta de topografía y posteriormente realizar cálculos matemáticos manuales o usando una computadora para obtener una representación gráfica de la medición (Plano topográfico).

El avance de la ciencia evolucionó el teodolito a un teodolito electrónico⁵ y luego a una estación total.

i. Definición

Se denomina estación total a un aparato electro-óptico utilizado en topografía, cuyo funcionamiento se apoya en la tecnología electrónica. Consiste en la incorporación de un distanciómetro y un microprocesador a un teodolito electrónico.

Algunas de las características que incorpora, y con las cuales no cuentan los teodolitos, son una pantalla alfanumérica de cristal líquido (LCD), leds de avisos, iluminación independiente de la luz solar, calculadora, distanciómetro, trackeador (seguidor de trayectoria) y en formato electrónico, lo cual permite utilizarla posteriormente en ordenadores personales. Vienen provistas de diversos programas sencillos que permiten, entre otras capacidades, el cálculo de coordenadas en campo, replanteo de puntos de manera sencilla y eficaz y cálculo de acimuts y distancias.

² Instrumento de medición mecánico-óptica que se utiliza para obtener ángulos verticales y, en el mayor de los casos, horizontales. Con otras herramientas auxiliares puede medir distancias y desniveles. Es portátil y manual. Con ayuda de una mira y mediante la taquimetría, puede medir distancias.

³ El distanciómetro es un instrumento electrónico de medición que calcula la distancia desde el dispositivo hasta el siguiente punto al que se apunte con el mismo. Existen 2 tipos de acuerdo a su método de medición: sónicos y por láser. Los primeros utilizan ultrasonido para calcular la distancia y los segundos un rayo láser visible.

⁴ El nivel topográfico, también llamado nivel óptico o equialtímetro, es un instrumento que tiene como finalidad la medición de desniveles entre puntos que se hallan a distintas alturas o el traslado de cotas de un punto conocido a otro desconocido.

⁵ Es la versión del teodolito óptico, con la incorporación de electrónica para hacer las lecturas del círculo vertical y horizontal, desplegando los ángulos en una pantalla, eliminando errores de apreciación. Es más simple en su uso, y, por requerir menos piezas, es más simple su fabricación y en algunos casos su calibración.

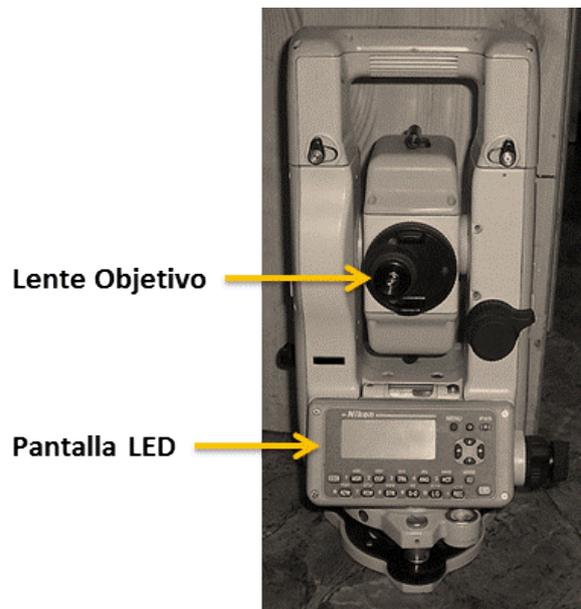


Ilustración 53: Estación total

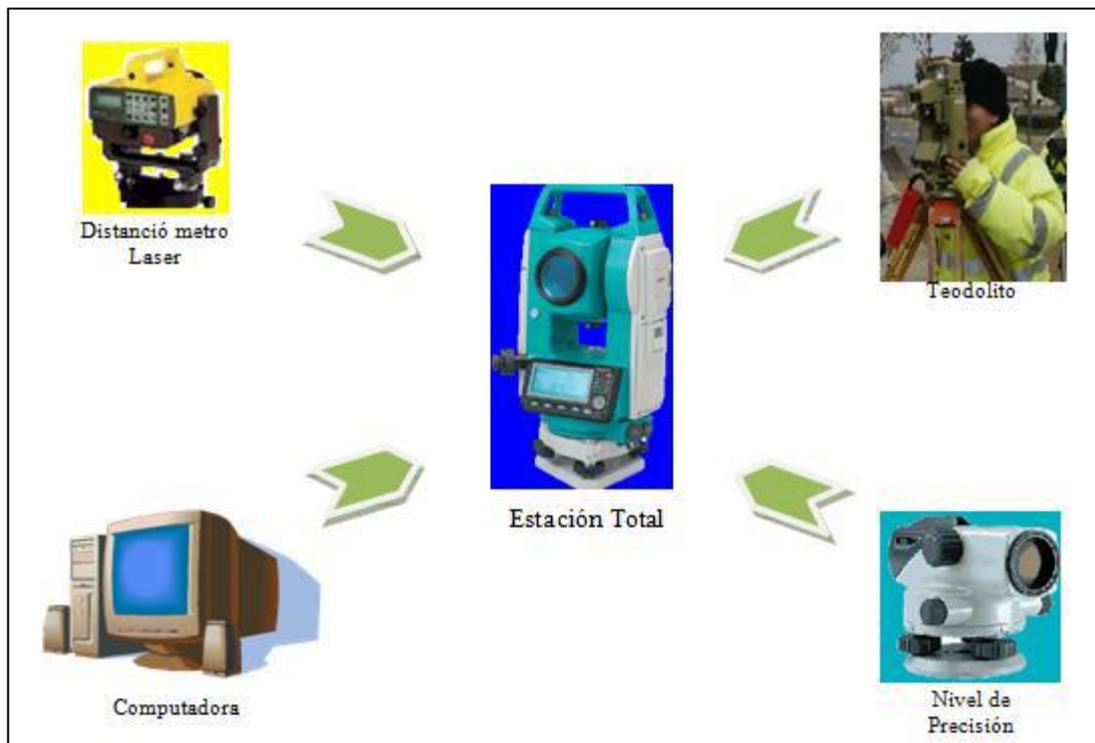


Ilustración 54: Instrumentos topográficos que integra la estación total

Es justo notar que en una medición con Estación Total se obtiene una precisión laser en distancias y una precisión digital en los ángulos, a diferencia del Teodolito y el Nivel que utilizan una precisión óptica para medición de ángulos y distancias. Además a partir de ambas variables (ángulos y distancias verticales y horizontales) más la ubicación actual la Estación Total calcula y almacena las coordenadas geográficas de cada punto observado (N, E, Z) eliminando la necesidad de realizar cálculos complejos para digitalizar el levantamiento en un software CAD.

ii. Aplicaciones generales

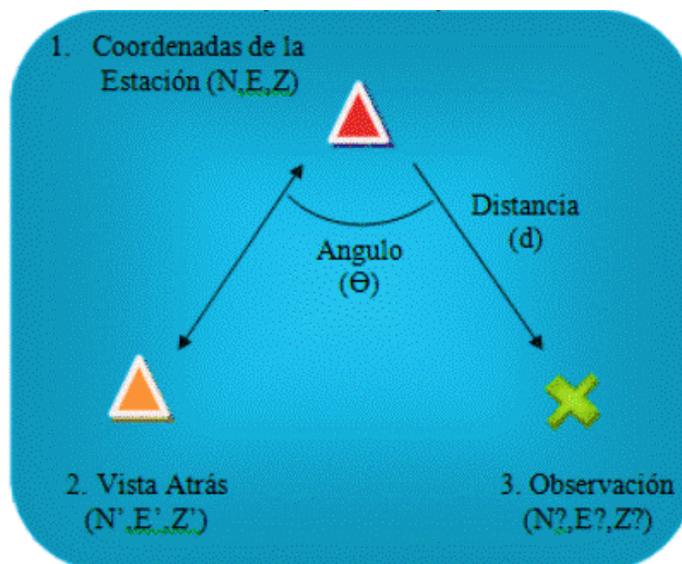
Una Estación Total alcanza su máxima funcionalidad en la ingeniería de alta precisión topográfica, esto es en la construcción de carreteras, puentes, edificios, redes de tuberías o conductos, represas, en la minería, etc. La precisión es un requisito indispensable para el funcionamiento óptimo de la obra.

La aplicación de la Estación Total cumple una sola función: medir y representar la realidad física existente en el terreno.

iii. Funcionamiento

El funcionamiento del aparato se basa en un principio geométrico sencillo: la triangulación, que consiste en determinar la coordenada geográfica de un punto cualquiera a partir de otros dos conocidos. En palabras claras para realizar un levantamiento con Estación Total se ha de partir de 2 puntos con coordenadas conocidas y de esa posición se observan y calculan las coordenadas de cualquier otro punto en campo. La nomenclatura de estos tres puntos es:

- **Coordenadas de la Estación (Stn Coordinate):** Es la coordenada geográfica del punto sobre el cual se ubica el aparato en campo. A partir del mismo se observaran todos los puntos de interés.
- **Vista Atrás (Back Sight):** Es la coordenada geográfica de un punto visible desde la ubicación del aparato.
- **Observación (Observation):** Es un punto cualquiera visible desde la ubicación del aparato al que se le calcularan las coordenadas geográficas a partir del *Stn Coordinate* y el *Back Sight*.



Paso a Paso:

El aparato se ubica en el punto "1" y se orienta hacia el punto "2", ambos con coordenadas conocidas.

El aparato realiza un giro para observar el punto "3" obteniendo un ángulo " Θ " y una distancia "d".

A partir de toda esta información se realiza un cálculo matemático (algoritmo) para obtener las coordenadas del punto "3".

La triangulación no necesariamente debe formar un triángulo perfecto (isósceles) como el de la figura, de hecho la relación podría ser hasta lineal y el principio se aplica por igual.



Ilustración 55: Esquema de funcionamiento (triangulación) de la estación total

D. Protocolo de Muestreo y Preparación de Muestras

En El Soldado se sigue un protocolo para la preparación mecánica de muestras de acuerdo a las recomendaciones de nuestros asesores internos y externos. En el caso de los sondajes diamantinos, se realizan mediciones de mecánica de rocas (RQD, Recuperación, frecuencia de fracturas) y los testigos se cortan en seco usando una cortadora hidráulica. La preparación de las muestras está a cargo de un servicio externo, con equipos proporcionados por Anglo American.

El muestreo de los sondajes es realizado por la empresa que hace las perforaciones, de acuerdo a los estándares de la industria. Tanto en sondajes diamantinos como de aire reverso se toman muestras cada 3 m. Para el aseguramiento de la calidad de la perforación y del muestreo de los sondajes de aire reverso se cuenta con un controlador externo que está presente en la plataforma durante todo el tiempo que la máquina perfora

La trayectoria de los sondajes es medida con giroscopio por parte de una empresa externa, que en la campaña 2012 fue Comprobe. La información es ingresada a la base de datos para ser usada en los procesos de interpretación y estimación.

Las coordenadas del collar son medidas con GPS antes de la perforación y después de realizado el sondaje.

i. Estándares de Cobre

El segundo semestre del año 2005 se mandó muestras de El Soldado al laboratorio australiano Ore Research Pty. para que se prepararan 4 estándares de Cu para ser usado como material de referencia. Las leyes de dos de estas muestras están cercanas a 0.40% CuT y las de las otras dos cercanas a 1.10%, de tal manera de cubrir la mayor parte de las leyes con las que se realiza la explotación de la mina (Tabla 2). Estos estándares se empezaron a usar en Agosto 2006.

	CuT (%)	Desviación Estándar
STD-5	1.100	0.033
STD-6	0.390	0.008
STD-7	1.160	0.050
STD-8	0.405	0.009

Tabla 17: Muestras de estándares actualmente en uso en El Soldado

En la campaña 2012 se usaron estas 4 muestras, alternando mensualmente las parejas STD-5/STD6 y STD7/STD8. Al revisar el QA/QC, si uno de los estándares está fuera del rango aceptable, la guía se manda a reanalizar y los resultados de leyes quedan en status pendiente hasta que los resultados sean satisfactorios.

ii. Blancos

En cada lote de muestras enviadas al laboratorio, se incluyen 2 muestras de cuarzo estéril, una de ellas al inicio del batch y otra intercalada en algún lugar aleatorio. Estas muestras se adquieren a un proveedor externo.

Los resultados del análisis de estas muestras deben indicar menos de 0.02% CuT para ser considerados aceptables. Este valor se utiliza considerando que es 20 veces el valor del límite de detección del laboratorio (0.001%).

iii. Duplicados

De acuerdo con los lineamientos de Anglo American, en El Soldado se toman en forma sistemática 3 tipos de muestra duplicadas a los sondajes:

- **Duplicado de Pulpa (PM):** Se obtiene en la parte final del proceso de preparación mecánica de la muestra. El material que se obtiene después de pasar por el pulverizador Labtechnic LM-2 se divide en un minicuarteador rotatorio, desde donde normalmente se obtiene una muestra de 30g para ser enviada al laboratorio y otra similar para respaldo. Cuando corresponde que la muestra tenga un duplicado, se genera otra muestra de 30 g para ser incluida en el batch. La frecuencia con la que se obtiene esta muestra está definida en el procedimiento vigente y corresponde a una por cada 20 muestras de una guía. El principal objetivo de esta muestra es detectar errores en el análisis químico.
- **Duplicado Grueso (C):** Se obtiene al dividir la muestra a la salida del chancador Boyd, utilizando un cuarteador rotatorio. Al igual que en el caso anterior, de acuerdo al procedimiento vigente, cada 20 muestras de un lote se saca una muestra duplicada "C". El principal objetivo de esta muestra es controlar el proceso de chancado y pulverizado.
- **Duplicado de Campo (S):** Esta muestra se obtiene antes de iniciar el proceso de preparación mecánica. En el caso de los sondajes diamantinos, se procesan las dos mitades del testigo del tramo seleccionado. En los sondajes de aire reverso se genera una segunda muestra cada 20 muestras normales.
El principal objetivo de esta muestra es controlar el proceso de obtención de la muestra y su representatividad.

Los detalles de frecuencia y la operación para obtener estos duplicados se encuentran en el procedimiento "Obtención y Preparación Muestras QA/QC" de la Superintendencia de Geología de El Soldado.

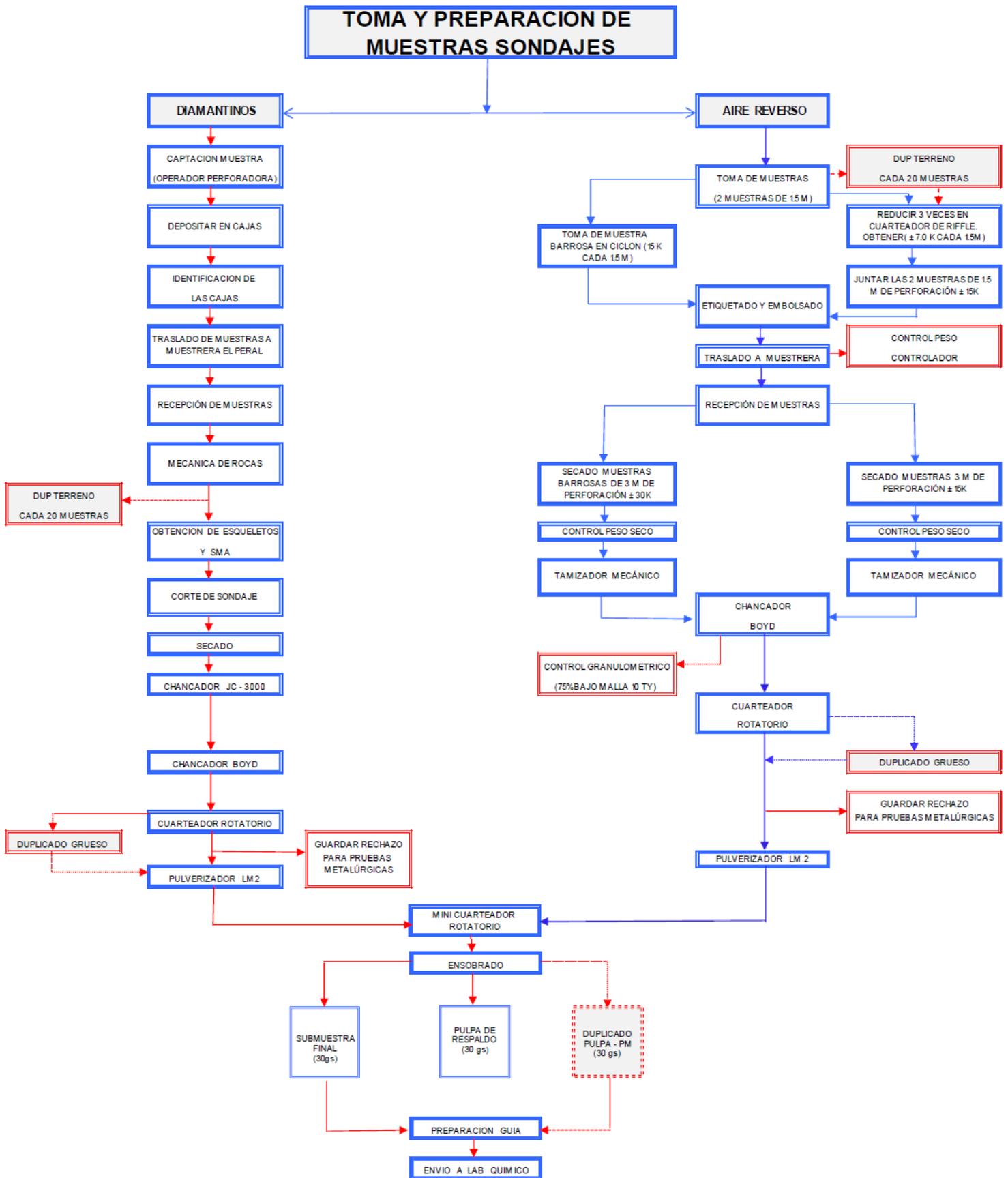


Ilustración 56: Diagrama de flujo de toma y preparación de muestras de sondajes