



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

**"EVALUACIÓN DE MÉTODOS DE PLANIFICACIÓN DE LARGO PLAZO EN MINA  
CHUQUICAMATA"**

**MEMORIA PARA OPTAR AL TITULO DE INGENIERA CIVIL DE MINAS**

**LILIA DAFNE BUSTAMANTE ESPEJO**

PROFESOR GUIA:

VICTOR ENCINA MONTENEGRO.

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:

CHRISTIAN MOSCOSO WALLACE.

PATRICIO CAMPOS POBLETE.

**SANTIAGO DE CHILE**

**ABRIL 2010**

## Resumen

Chuquicamata, es una mina de cobre a cielo abierto, perteneciente a la División CODELCO Norte; se encuentra ubicada en el norte del país y actualmente está en operación.

Los lineamientos sobre cómo explotar el recurso mineral que compone a esta mina vienen dados por la planificación de largo plazo. La cual dentro de sus objetivos principales, apunta a maximizar el valor del negocio.

El precio del cobre, es uno de los parámetros más influyente al momento de calcular el valor del negocio. Por lo tanto, sus variaciones afectarán fuertemente las decisiones que se tomen al planificar la forma en que se realizará la explotación del recurso mineral en el cual se sustenta el negocio. Además, se sabe que a pesar de que existen numerosas metodologías para determinar el valor del precio del cobre en el largo plazo, dichas estimaciones presentan un alto nivel de incertidumbre.

Dado lo anterior, se tiene que la planificación minera se ve estrechamente ligada al precio del cobre, en cuanto a las decisiones que se tomen sobre qué, de dónde y en qué momento extraer un determinado material, dependiendo del valor que alcance el precio en el largo plazo.

Por otro lado, el costo de oportunidad reflejado en la tasa de actualización, es también un factor importante al momento de decidir cuándo extraer un mineral. Ya que su aporte al valor del negocio, dependerá del momento en que dicho mineral se extraiga.

Luego, dados determinados precios del cobre para un periodo de tiempo definido, la interrogante que surge, es qué criterio adoptar al momento de planificar en función de maximizar el valor del negocio. Ante esto, aparecen dos opciones; una es buscar las mejores leyes de cobre durante el periodo de tiempo donde el precio del mineral es mayor. La otra, es postergar los desarrollos de la mina, en la medida que ello sea posible, sobre todo en aquellos periodos donde el precio del cobre es menor. Considerando que ambas opciones tienen como restricción la necesidad de cumplir con los requerimientos de la planta concentradora.

La metodología que se planteó para abordar ésta interrogante, fue realizar tres planes diferentes: uno ajustado al plan de largo plazo realizado por CODELCO Norte el año 2004, a modo de establecer el plan base de comparación. Y dos más, uno para cada criterio antes mencionados. Evaluar dichos planes, y en base a los resultados de VAN obtenido para cada uno de ellos, determinar cuál fue el mejor criterio.

Del análisis, se obtuvo que planificar extrayendo las mejores leyes de cobre, durante los periodos de tiempo donde el precio de éste alcanza sus mayores valores fue la opción con mejores resultados.

Luego, con el criterio seleccionado, se realizó la planificación del periodo comprendido desde el 2010 al fin de la mina, planteándose cuatro escenarios de precios diferentes. Y se evaluó cada plan con todos los escenarios de precios definidos. Con ello, se exploró la robustez de cada uno de los planes y se concluyó que existe la necesidad de considerar no solo un escenario de precios al momento de planificar, sino mas bien, se recomienda realizar diferentes planes bajo diferentes escenarios de precio a modo de poder presentar una baraja de opciones donde pueda establecerse cual es más robusta y por qué.

## **Agradecimientos**

En primer lugar, agradezco a mi familia, en particular a mis padres Lilia y Víctor, por el apoyo incondicional, la compañía, el amor y las oportunidades que me han brindado para poder seguir por el camino que llega hasta aquí.

Agradezco a mi amigo y compañero Luis que participó muy cercano a mí, durante todo el proceso de memoria. Gracias por la fuerza, el ánimo, la comprensión y el apoyo.

Agradezco a mis amigos, quienes se convirtieron en mi familia en Santiago. A aquellos que me acompañaron desde el principio: Millaray, Marlene y Cathy. A todos aquellos que tuve el placer de conocer dentro del departamento y con los cuales compartimos infinidad de momentos, en especial: Pame, Javier y Cristian. Y por supuesto a mis compañeros de casa: Matías y Cristian.

Agradezco a la Universidad de Chile y a los profesores que en ella trabajan por entregarme las herramientas necesarias para convertirme en Ingeniera. Y a la División CODELCO Norte por la información y la ayuda brindada en el desarrollo de este trabajo.

## Índice de Contenidos

CAPITULO 1: Introducción .....	1
1.1. Objetivos Generales .....	3
1.2. Objetivos Específicos .....	4
1.3. Alcances.....	4
1.4. Metodología.....	4
CAPITULO 2: Antecedentes Bibliográficos .....	7
2.1. Planificación Minera.....	7
2.1.1. Planificación Estratégica .....	8
2.1.2. Planificación de Largo Plazo .....	9
2.1.3. Planificación Táctica .....	9
2.1.4. Planificación de Corto Plazo.....	10
2.2. Modelo de Recursos.....	10
2.4. Precio del Cobre.....	11
2.5. Antecedentes de la faena .....	15
CAPITULO 3: Construcción de los Pits Anidados.....	19
3.1. Modelo de Bloques .....	20
3.1.1. Extensión del Modelo.....	20
3.1.2. Variables del Modelo.....	20
3.1.3. Elementos.....	21
3.2. Topografía.....	22
3.3. Medias Lunas .....	22
3.4. Metodología.....	23
3.4.1. Metodología para Minar de Modelo de Bloques .....	24
3.4.2. Metodología para generar los Pit Anidados .....	24
3.5. Pits Anidados .....	25
3.5.2. Cubicaciones .....	46
CAPITULO 4: Planificación periodo 2004-2009.....	47
4.1. Parámetros de Entrada.....	47
4.1.1. Procesos .....	47
4.1.2. Costos .....	48
4.1.3. Recuperaciones Metalúrgicas .....	48
4.1.4. Precio y Tasa de descuento .....	49

4.2.	Restricciones.....	49
4.2.1.	Planta Concentradora .....	49
4.2.2.	Límites máximos de extracción por periodo para cada fase .....	50
4.3.	Determinación de los planes a desarrollar.....	51
4.3.1.	Plan Base: .....	52
4.3.2.	Plan buscando las mejores leyes .....	52
4.3.3.	Plan disminuyendo desarrollos.....	52
4.4.	Metodología.....	52
4.5.	Planes .....	54
4.5.1.	Plan Base .....	54
4.5.2.	Plan buscando las mejores leyes. ....	55
4.5.3.	Plan postergando desarrollos.....	56
4.6.	Extracción por fases .....	57
4.6.1.	Plan Base .....	57
4.6.2.	Plan buscando las mejores leyes. ....	58
4.6.3.	Plan postergando desarrollos.....	59
4.6.4.	Comparación entre planes .....	60
4.7.	Evaluación Económica.....	68
4.7.1.	Plan Base .....	68
4.7.2.	Plan buscando las mejores leyes .....	69
4.7.3.	Plan postergando desarrollos.....	70
4.7.4.	Comparación entre Planes .....	70
CAPITULO 5: Planificación periodo 2009 al fin de la mina .....		73
5.1.	Parámetros de Entrada.....	73
5.1.1	Procesos .....	73
5.1.2.	Costos .....	74
5.1.3.	Recuperaciones Metalúrgicas .....	74
5.1.4.	Precio y Tasa de descuento .....	75
5.2.	Restricciones.....	75
5.2.1.	Planta Concentradora .....	75
5.2.2.	Límites máximos de extracción por periodo para cada fase .....	76
5.3.	Determinación de los escenarios de precio a considerar .....	77
5.3.1.	Escenario 1:.....	77
5.3.2.	Escenario 2:.....	77
5.3.3.	Escenario 3:.....	77
5.3.4.	Escenario 4:.....	78

5.3.	Determinación de los planes a desarrollar.....	79
5.3.1.	Plan 1 .....	80
5.3.2.	Plan 2 .....	80
5.3.3.	Plan 3 .....	80
5.3.4.	Plan 4 .....	80
5.4.	Metodología.....	80
5.5.	Planes .....	81
5.5.1.	Plan 1 .....	81
5.5.2.	Plan 2 .....	82
5.5.3.	Plan 3 .....	83
5.5.4.	Plan 4 .....	84
5.6.	Extracción por fases .....	85
5.6.1.	Plan 1 .....	85
5.6.2.	Plan 2 .....	86
5.6.3.	Plan 3 .....	87
5.6.4.	Plan 4 .....	88
5.6.5.	Comparación entre planes .....	90
5.7.	Evaluación Económica.....	97
5.7.1.	Plan 1 .....	97
5.7.2.	Plan 2 .....	97
5.7.3.	Plan 3 .....	98
5.7.4.	Plan 4 .....	99
5.7.5.	Comparación entre planes .....	100
CAPITULO 6:	Conclusiones .....	104
6.1.	Consideraciones.....	107
6.2.	Recomendaciones.....	107
	Bibliografía.....	109
ANEXO A:	Cubicación Fases por banco.....	110

## Índice de Tablas

<i>Tabla 1: Cubicaciones en MineSight y Whittle del mineral, estéril y movimiento mina total.....</i>	19
<i>Tabla 2: Características del Modelo de Bloques.....</i>	20
<i>Tabla 3: Variables del Modelo de Bloques.....</i>	20
<i>Tabla 4: Cubicación por tipo de roca.....</i>	21
<i>Tabla 5: Ley Media por elemento.....</i>	21
<i>Tabla 6: Cubicaciones de las fases en MineSight y Whittle.....</i>	46
<i>Tabla 7: Costos Mina, Proceso y Venta.....</i>	48
<i>Tabla 8: Recuperaciones Metalúrgicas por año.....</i>	48
<i>Tabla 9: Precio del cobre, reales y dados por las Orientaciones Comerciales 2004.....</i>	49
<i>Tabla 10: Mineral requerido, por año, por la planta concentradora.....</i>	50
<i>Tabla 11: Movimiento anual Mina por fase.....</i>	51
<i>Tabla 12: Detalle del movimiento mina por periodo.....</i>	55
<i>Tabla 13: Detalle del movimiento mina por periodo.....</i>	56
<i>Tabla 14: Detalle del movimiento mina por periodo.....</i>	57
<i>Tabla 15: Movimiento anual Mina por fase.....</i>	57
<i>Tabla 16: Porcentaje de aumento en la extracción anual por fases.....</i>	58
<i>Tabla 17: Movimiento anual Mina por fase.....</i>	58
<i>Tabla 18: Porcentaje de aumento en la extracción anual por fases.....</i>	59
<i>Tabla 19: Movimiento anual Mina por fase.....</i>	59
<i>Tabla 20: Porcentaje de aumento en la extracción anual por fases.....</i>	60
<i>Tabla 21: Flujos de Caja Nominales por Año, del plan evaluado a precios de OOC 2004 y a precios reales.....</i>	69
<i>Tabla 22: Flujos de Caja Nominales por Año, del plan evaluado a precios de OOC 2004 y a precios reales.....</i>	69
<i>Tabla 23: Flujos de Caja Nominales por Año, del plan evaluado a precios de OOC 2004 y a precios reales.....</i>	70
<i>Tabla 24: VAN de los tres planes, evaluados con precios de OOC 2004 y precios reales.....</i>	71
<i>Tabla 25: Costo Mina, proceso y venta por año.....</i>	74
<i>Tabla 26: Recuperaciones metalúrgicas por año para el cobre y el molibdeno.....</i>	74
<i>Tabla 27: vector del precio del cobre de acuerdo a las Orientaciones Comerciales 2010.....</i>	75
<i>Tabla 28: Mineral requerido por la planta concentradora.....</i>	76
<i>Tabla 29: Movimiento anual Mina por fase.....</i>	76
<i>Tabla 30: Precios del cobre para cada escenario.....</i>	79
<i>Tabla 31: Detalle del movimiento mina por periodo.....</i>	82
<i>Tabla 32: Detalle del movimiento mina por periodo.....</i>	83
<i>Tabla 33: Detalle del movimiento mina por periodo.....</i>	84
<i>Tabla 34: Detalle del movimiento mina por periodo.....</i>	85
<i>Tabla 35: Movimiento anual Mina por fase.....</i>	85
<i>Tabla 36: Porcentaje de aumento en la extracción anual por fases.....</i>	86
<i>Tabla 37: Movimiento anual Mina por fase.....</i>	86
<i>Tabla 38: Porcentaje de aumento en la extracción anual por fases.....</i>	87
<i>Tabla 39: Movimiento anual Mina por fase.....</i>	87
<i>Tabla 40: Porcentaje de aumento en la extracción anual por fases.....</i>	88
<i>Tabla 41: Movimiento anual Mina por fase.....</i>	89
<i>Tabla 42: Porcentaje de aumento en la extracción anual por fases.....</i>	89

<i>Tabla 43: Flujos de caja nominales por año.....</i>	<i>97</i>
<i>Tabla 44: Flujos de caja nominales por año.....</i>	<i>98</i>
<i>Tabla 45: Flujos de caja nominales por año.....</i>	<i>99</i>
<i>Tabla 46: Flujos de caja nominales por año.....</i>	<i>99</i>
<i>Tabla 47: VAN obtenido de la evaluación con los distintos escenarios para cada plan.....</i>	<i>100</i>

## Índice de Figuras

<i>Figura 1: Precio de Equilibrio con y sin tendencia.....</i>	<i>13</i>
<i>Figura 2: Cambio en la estructura de costos y precio de largo plazo. Donde, P corresponde al precio, Q corresponde a la demanda. <math>P_{LP}</math> y <math>P_{CP}</math>, al precio de largo y corto plazo respectivamente. <math>O_1</math> y <math>O_2</math>, <math>D_1</math> y <math>D_2</math>, corresponden a la oferta y demanda inicial y final respectivamente. ....</i>	<i>14</i>
<i>Figura 3: CODELCO Norte.....</i>	<i>16</i>
<i>Figura 4: Ubicación Chancadores en Mina Chuquicamata.....</i>	<i>17</i>
<i>Figura 5: Flowsheet de Mina Chuquicamata.....</i>	<i>18</i>
<i>Figura 6: Vista en planta topografía inicial Rajo Chuquicamata.....</i>	<i>22</i>
<i>Figura 7: Media Luna cota 2, 183 n.s.n.m.....</i>	<i>23</i>
<i>Figura 8: Fase 39. Izquierda: sólido en MineSight. Derecha: Pit en Whittle.....</i>	<i>26</i>
<i>Figura 9: Fase 40. Izquierda: sólido en MineSight. Derecha: Pit en Whittle.....</i>	<i>27</i>
<i>Figura 10: Fase 47A. Izquierda: sólido en MineSight. Derecha: Pit en Whittle.....</i>	<i>29</i>
<i>Figura 11: Fase 41. Izquierda: sólido en MineSight. Derecha: Pit en Whittle.....</i>	<i>31</i>
<i>Figura 12: Fase 47B. Izquierda: sólido en MineSight. Derecha: Pit en Whittle.....</i>	<i>33</i>
<i>Figura 13: Fase 38SC. Izquierda: sólido en MineSight. Derecha: Pit en Whittle.....</i>	<i>35</i>
<i>Figura 14: Fase 38 SD. Izquierda: sólido en MineSight. Derecha: Pit en Whittle.....</i>	<i>37</i>
<i>Figura 15: Fase 42. Izquierda: sólido en MineSight. Derecha: Pit en Whittle.....</i>	<i>39</i>
<i>Figura 16: Fase 53. Izquierda: sólido en MineSight. Derecha: Pit en Whittle.....</i>	<i>41</i>
<i>Figura 17: Fase 49. Izquierda: sólido en MineSight. Derecha: Pit en Whittle.....</i>	<i>43</i>
<i>Figura 18: Fase 50. Izquierda: sólido en MineSight. Derecha: Pit en Whittle.....</i>	<i>45</i>

## Índice de Gráficos

Gráfico 1: Mineral y leyes de cobre por banco fase 39.....	26
Gráfico 2: Mineral y leyes de cobre por banco fase 40.....	28
Gráfico 3: Estéril por banco fase 40.....	28
Gráfico 4: Mineral y leyes de cobre por banco fase 47A .....	30
Gráfico 5: Estéril por banco fase 47A .....	30
Gráfico 6: Mineral y leyes de cobre por banco fase 41.....	32
Gráfico 7: Estéril por banco fase 41.....	32
Gráfico 8: Mineral y leyes de cobre por banco fase 47B .....	34
Gráfico 9: Estéril por banco fase 47B .....	34
Gráfico 10: Mineral y leyes de cobre por banco fase 38 SC.....	36
Gráfico 11: Estéril por banco fase 38 SC.....	36
Gráfico 12: Mineral y leyes de cobre por banco fase 38 SD.....	38
Gráfico 13: Estéril por banco fase 38 SD.....	38
Gráfico 14: Mineral y leyes de cobre por banco fase 42.....	40
Gráfico 15: Estéril por banco fase 42.....	40
Gráfico 16: Estéril por banco fase 53.....	42
Gráfico 17: Mineral y leyes de cobre por banco fase 49.....	43
Gráfico 18: Estéril por banco fase 49.....	44
Gráfico 19: Estéril por banco fase 50.....	45
Gráfico 20: Movimiento anual mina por materiales. Ley de cobre a concentradora y precio del cobre .....	54
Gráfico 21: anual mina por materiales. Ley de cobre a concentradora y precio del cobre.....	55
Gráfico 22: anual mina por materiales. Ley de cobre a concentradora y precio del cobre.....	56
Gráfico 23: Comparación entre planes del movimiento anual de la fase 39.....	61
Gráfico 24: Comparación entre planes del movimiento anual de la fase 40.....	61
Gráfico 25: Comparación entre planes del movimiento anual de la fase 47A .....	62
Gráfico 26: Comparación entre planes del movimiento anual de la fase 41.....	63
Gráfico 27: Comparación entre planes del movimiento anual de la fase 47 B .....	64
Gráfico 28: Comparación entre planes del movimiento anual de la fase 38 SC.....	65
Gráfico 29: Comparación entre planes del movimiento anual de la fase 38 SD.....	66
Gráfico 30: Comparación entre planes del movimiento anual de la fase 42.....	67
Gráfico 31: Comparación entre planes del movimiento anual de la fase 53.....	68
Gráfico 32: Comparación flujos de caja anuales entre planes.....	71
Gráfico 33: Escenarios de precios del cobre.....	78
Gráfico 34: anual mina por materiales. Ley de cobre a concentradora y precio del cobre.....	81
Gráfico 35: anual mina por materiales. Ley de cobre a concentradora y precio del cobre.....	82
Gráfico 36: anual mina por materiales. Ley de cobre a concentradora y precio del cobre.....	83
Gráfico 37: anual mina por materiales. Ley de cobre a concentradora y precio del cobre.....	84
Gráfico 38: Comparación entre planes del movimiento anual de la fase 41.....	90
Gráfico 39: Comparación entre planes del movimiento anual de la fase 47 B .....	91
Gráfico 40: Comparación entre planes del movimiento anual de la fase 38 SD.....	92
Gráfico 41: Comparación entre planes del movimiento anual de la fase 42.....	93
Gráfico 42: Comparación entre planes del movimiento anual de la fase 53.....	94
Gráfico 43: Comparación entre planes del movimiento anual de la fase 49.....	95
Gráfico 44: Comparación entre planes del movimiento anual de la fase 50.....	96
Gráfico 45: Comparación flujos de caja anuales entre planes. Precios del cobre por escenario. ..	100
Gráfico 46: Planes Evaluados bajo los diferentes escenarios de precios del cobre .....	101

## **CAPITULO 1: Introducción**

En la industria minera, la planificación sustenta el valor posible de capturar a través de la explotación de un recurso mineral, según los lineamientos de cada empresa. La planificación minera comprende el diseño de procesos de explotación, la capacidad de instalaciones y características de las mismas, entre otros, para llevar a cabo una estrategia de explotación del recurso mineral.

Los elementos de planificación vienen dados en dos grupos, el primero relacionado con la exactitud de las estimaciones y el segundo con el “horizonte de evaluación” (largo, mediano y corto plazo). El plan, deberá ser actualizado en el tiempo pertinente, en función de las variaciones de los parámetros involucrados en sus bases

Los lineamientos de la Empresa para los cuales se realiza el plan, son designados en primera instancia, por el Directorio de la Empresa minera en cuestión, quienes son los encargados de generar el Plan Estratégico a llevar a cabo durante un tiempo determinado por las condiciones externas de mercado y políticas inherentes.

Siguiendo bajo la misma línea, la forma en que son llevados a cabo los Objetivos Estratégico, vienen dados por la Planificación Táctica. En este contexto, se realizan los planes mineros de Largo, Mediano y Corto Plazo. De los cuales, el largo plazo puede responder a un plan de carácter estratégico o táctico y el Corto Plazo puede considerarse de carácter táctico.

Las decisiones tomadas durante el corto plazo, afectan el plan de largo plazo. Bajo este contexto, si se considera que en el corto plazo, los parámetros que se estimaron y se fijaron para realizar el plan de Largo Plazo; serán ahora datos conocidos, valores reales. Se tiene entonces, que se puede determinar si el plan de largo plazo, con parámetros fijos, maximizó realmente el valor obtenido de explotar el recurso.

En el marco de lo anterior y buscando un periodo de tiempo para el cual los parámetros económicos como el precio del cobre, sean datos conocidos, se encuentra el plan de largo plazo confeccionado por CODELCO Norte para Mina Chuquicamata.

De acuerdo a él, la producción total de cobre fino a planta concentradora determinada era de 5.8 Mtmf contenidas en 670 Mtmh de mineral con una ley media de 0.89 % de Cu. El plan comprendía nueve fases de explotación diferentes. Y el fin de la mina se contemplaba para el año

2015, considerando el inicio de las labores subterráneas para el año anterior. De la evaluación económica se obtuvo para Mina Chuquicamata, un VAN de alrededor de 400 MUS\$.

Respecto a la evaluación económica, la metodología empleada considera el concepto de planificación minero metalúrgica-integrada. Sustentada en una estrategia de abastecimiento a las diferentes plantas de procesamiento desde distintas fuentes de alimentación de minerales.

El Plan de Negocio y Desarrollo 2004, se sustentó en las bases económicas establecidas en los Parámetros y Antecedentes para Planificación y Orientaciones Comerciales 2004, emitido por la Gerencia Corporativa de Estudios y Diseño Estratégico de la Vicepresidencia Corporativa de Comercialización y Desarrollo Sustentable.

La secuencia de explotación, definida por el plan minero consistió en identificar los materiales de aquellas expansiones que pueden ser explotados en forma simultánea para generar una mezcla de mineral adecuada para su envío a proceso. Además, se definieron los niveles de extracción total para el desarrollo de la mina, lo cual permite acceder a nuevas reservas de mineral en los siguientes periodos.

Las expansiones consideradas fueron:

- Fase 39
- Fase 40
- Fase 47 A
- Fase 41
- Fase 47 B
- Fase 38 SC
- Fase 38 SD
- Fase 42
- Fase 53

Respecto a los sistemas de chancado del mineral de Mina Chuquicamata, el plan de largo plazo del año 2004, consideraba las estaciones de chancado E4 y M1. La estación E4, contaba con una capacidad de 32,580 kt anuales (90 kt/d). Por otro lado, la configuración de M1 contemplaba una capacidad para el 2004 de 59,400 kt (164 kt/d) y el resto de los años de 65,000 kt (180 kt/d).

Respecto a la capacidad de procesamientos, la planificación de Concentradora consideraba el concepto de un centro único de procesamiento donde se beneficiaban minerales sulfurados del distrito. La Planta Concentradora contaba con una capacidad nominal de 182 ktpd y se encontraba conformada por las áreas de: Chancado Primario Chuquicamata, Chancado secundario y terciario, Molienda, Flotación, Planta de Flotación y Tostación de Molibdeno, Espesaje de Filtrado y Concentrados, Espesaje, Tratamiento y Depositación de Relaves.

Para el caso del molibdeno, se contaba con la Planta de Flotación y Tostación de Molibdeno. Esta instalación, con una capacidad nominal de 6,800 tpd de concentrado colectivo Cu-Mo, permitía separar el sulfuro de molibdeno de las restantes especies mineralógicas. La recuperación de molibdeno alcanzaba al 90% y producía aproximadamente 30,000 ton/año de concentrado de molibdeno (51% de molibdeno).

En el caso de la línea de sulfuros, se contemplaba una Concentradora Chuquicamata potenciada a 230 ktpd y abastecida desde distintos yacimientos. La etapa de decisión asume ya conocida la secuencia de explotación de cada uno de éstos, sus límites finales considerando el costo alternativo ante la posibilidad de una explotación subterránea y el costo de oportunidad considerando sus respectivas leyes de corte, capacidad de la planta y recuperación metalúrgica. De esta forma existe una valoración económica absoluta del mineral de cada mina y lo que se resuelve es la oportunidad en el tiempo en que debe enviar a beneficiar en Concentradora los minerales de cada mina, para maximizar el valor presente neto del negocio.

El trabajo que se presenta, consiste en una evaluación de diferentes criterios de planificación en base a diferentes escenarios de precios, para el largo plazo, en Mina Chuquicamata. Realizando planes a partir del año 2004, considerando como punto de partida las mismas bases que se utilizaron en la confección del plan de largo plazo del año 2004 realizado por CODELCO Norte. Y a partir de la evaluación económica de dichos planes, establecer cuál es la mejor metodología.

## **1.1. Objetivos Generales**

- Evaluar diferentes metodologías de planificación de Largo Plazo en Mina Chuquicamata, en base a las variaciones del precio del cobre. Y a partir de ello, determinar una que permita maximizar el valor del negocio en base a condiciones reales de mercado.
- Explorar impacto de estrategias de planificación en función del precio del cobre.

## 1.2. Objetivos Específicos

- Realizar tres planes diferentes para el periodo comprendido desde el año 2004 al 2009. El primero, un plan base, que se ajuste al plan de largo plazo de CODELCO Norte; el segundo un plan realizado bajo el criterio de extraer las mejores leyes de cobre durante los periodos donde el precio del mineral es mayor; y el tercero, un plan en basado en postergar desarrollos.
- Definir cuatro escenarios de precio del cobre diferentes para el periodo de tiempo comprendido desde el año 2010 al fin de la mina, y para cada uno de ellos confeccionar un plan de largo plazo. El primer escenario en base a los precios dados por las Orientaciones Comerciales 2010 de CODELCO. El segundo, dado por la linealización del primer vector. El tercero, un escenario dado por una curva de precios que presenta los menores valores al principio del periodo, para luego aumentar hacia los últimos años. Y el cuarto escenario, definido por una curva de precio del cobre totalmente opuesta a la del tercer escenario.

## 1.3. Alcances

- Todos los planes se confeccionarán en un ámbito de largo plazo.
- Los planes a realizar serán de un carácter no operativo.

## 1.4. Metodología

El procedimiento para el desarrollo del presente trabajo, se resume en los cuatro pasos presentados a continuación.

### 1. Planificar periodo 2004 al 2009

Realizar tres planes diferentes que contemplen el periodo de tiempo comprendido desde el año 2004 hasta el año 2009. Para ello, se procederá a:

- Minar el Modelo de Bloques  
Proceso que consiste en actualizar el modelo de bloques considerando la topografía inicial del periodo a planificar.

- Crear los pits anidados

Este proceso se llevará a cabo utilizando Whittle y el diseño de las fases del plan de largo plazo de CODELCO Norte del año 2004. Como resultado de esto, se obtendrá una secuencia de pits anidados que se ajustarán perfectamente a las fases del plan de CODELCO Norte.

- Confeccionar los planes

Realizar tres planes diferentes. Uno que se ajuste al plan de largo plazo de CODELCO Norte del año 2004. Otro que siga el criterio de buscar las mejores leyes de cobre durante los periodos donde el precio del mineral sea mayor. Y finalmente, un plan que se base en postergar desarrollos.

## 2. Comparar estrategias

Evaluar los planes confeccionados en el punto anterior y utilizando el VAN como parámetro de comparación, establecer cuál es la mejor metodología a utilizar.

## 3. Planificar del 2009 en adelante

Para el periodo 2009 al fin de la mina se realizan 4 planes, utilizando la estrategia de buscar extraer el mineral con mejores leyes de cobre en los periodos que el precio del cobre es mayor. Además de asegurar la cantidad requerida de mineral por la planta concentradora.

Considerando los precios establecidos en las Orientaciones Comerciales 2010 de CODELCO Norte, se definen tres escenarios diferentes a partir de ello.

### Plan Base

Plan en base a los precios de las Orientaciones Comerciales 2010 de CODELCO Norte.

### Plan Escenario 1.

Plan en base al escenario 1 de precios, que consiste en la linealización de los precios dados por las Orientaciones Comerciales 2010.

### Plan Escenario 2.

Plan en base al escenario 2 de precios. Dicha curva de precios, presenta precios mínimos durante los primeros años, para subir luego, terminando con los mayores precios durante los últimos años.

Plan Escenario 3.

Plan en base al escenario 3 de precios, que consiste en una curva que presenta los precios mayores durante los primeros años, disminuyendo luego, llegando a los precios más bajos durante los últimos años.

4. Comparar planes

Analizar que tan robusto es cada plan dentro de las opciones que se presentan. En base a los resultados de VAN arrojados para los cuatro planes, evaluados bajo los diferentes escenarios.

## **CAPITULO 2: Antecedentes Bibliográficos**

La planificación minera, el precio del cobre y la influencia de éste último en la primera, son temas importantes de comprender para poder llevar a cabo el estudio que presenta este trabajo de memoria.

Dado lo anterior, el presente capítulo profundizará sobre el concepto de planificación minera de largo, mediano y corto plazo; el carácter estratégico o táctico de la misma; la importancia de la ley de corte en una planificación de largo plazo; el precio del cobre a largo plazo, estimaciones del mismo; y cómo influye en el valor de un determinado negocio.

Además, también se presentan antecedentes de CODELCO Norte, específicamente de Mina Chuquicamata, que corresponde a la faena donde se realizó el estudio.

### **2.1. Planificación Minera**

La habilidad para manejar el capital invertido para asegurar el retorno a los inversionistas es primordial en el éxito de una empresa y una clave para esto, es alinear la inversión con la estrategia. Bajo éste contexto, la planificación minera juega un rol fundamental (Nicolás Majluf, 2009).

Usualmente se entiende la planificación como una función de la ingeniería que en primera instancia guarda relación con la evaluación de opciones de negocio. En Minería comprende el diseño de procesos de explotación, la capacidad y características de las instalaciones de operación (accesos, equipos) para llevar a cabo una estrategia de explotación del recurso mineral (secuencia de extracción).

La planificación es un proceso inherente al negocio minero, desde la concepción del proyecto hasta el fin de la vida útil de la mina. Al comienzo, se realiza un plan minero que se ajusta a los antecedentes que se disponen en ese momento. Y luego, durante la vida de la mina, se va actualizando el plan, de acuerdo a las variaciones en los diferentes parámetros involucrados y al mayor conocimiento que se va teniendo del yacimiento. Además, en base al horizonte de planificación, se establecen tres tipos diferentes: planificación de largo, mediano y corto plazo.

Los elementos de la planificación minera interactúan durante el desarrollo de vida de las operaciones mineras combinando aquellos propios de una planificación de carácter táctica con los de una planificación de carácter estratégico .

Las características únicas asociadas a la economía de minerales, convierten a la planificación en el pilar que sostiene la viabilidad de un proyecto. Dentro de las principales características a considerar, se tienen las siguientes:

- El mineral es un recurso finito
- Se requiere de una alta inversión y tiempo para desarrollar un proyecto.
- Cada yacimiento posee características propias que determinan su valor.
- Los esfuerzos se concentran en innovar en tecnologías para el negocio y para el uso de los productos con el fin de asegurar el negocio a futuro.
- La incertidumbre dada por el hecho de que el precio de los productos es variable en el tiempo.
- Existe un riesgo asociado a la estimación del recurso donde siempre existe la incerteza en la aproximación sobre leyes y tonelajes.

Como se mencionó anteriormente, la planificación minera, puede ser de carácter táctico, estratégico o una combinación de ambas, dependiendo de cuales sean los factores a considerar.

### **2.1.1. Planificación Estratégica**

La planificación estratégica tiene relación con componentes y decisiones de largo impacto sobre el valor del negocio minero en el largo plazo. Se desarrolla dentro de un ámbito de alto nivel de incertidumbre, dado por el desconocimiento de ciertos parámetros esenciales para planificar. Fundamental en esto, es el desarrollo de modelos de negocios y planes que maximicen el valor de la explotación del recurso mineral.

Para lograr lo anterior, es necesario tener en consideración y optimizar parámetros clave en la cadena de evaluación, tales como: estrategia de exploración, método de extracción, secuencia de extracción, ley de corte, escala de operaciones, líneas de los procesos metalúrgicos, planes sociales y laborales, un desarrollo ambiental sustentable y por último, estrategias de marketing.

Es extremadamente necesario que la eficacia de la selección de la estrategia y del modelo de negocio, definidos al inicio del ciclo del mismo, sea periódicamente revisada tanto en los aspectos internos como externos del negocio. En el caso de las faenas en operación, el ámbito estratégico es estudiado continuamente en los planes de mediano y largo plazo (reemplazando y/o expandiendo proyectos).

Con una buena estrategia se busca, en primer lugar, alcanzar una rentabilidad superior, pero en este caso, no al mercado competitivo, sino más bien al mercado de capitales. Para el caso particular del cobre, las empresas son tomadoras de precio, y por lo tanto, todos sus esfuerzos se centran en reducir costos y la estrategia tradicional, busca lograr un “Liderazgo de Costos”. En esta industria, las empresas participantes no compiten entre sí, sino contra el precio, los ciclos económicos, las tasas de interés, las políticas económicas de algunos países consumidores y las apuestas especulativas de los participantes en los mercados de derivados financieros (G.L.Smith, J.Pearson-Taylor, 2006).

Componente de esta planificación de carácter estratégico, es la planificación de largo plazo.

### **2.1.2. Planificación de Largo Plazo**

La Planificación de Largo Plazo se realiza en una base de tiempo que comprende toda la vida de la mina. Como resultado, se obtiene la valorización actualizada de una parte del yacimiento (recurso) cuya explotación es rentable (reserva). Bajo este escenario, se puede considerar que los actores son capaces de responder ante cambios en el negocio económico, proyectando expansiones y cambios en el ritmo de producción (P.L.McCarthy,2006).

### **2.1.3. Planificación Táctica**

Se entiende por Planificación Táctica, al camino a seguir para lograr cumplir con los objetivos estratégicos definidos por el negocio minero. Ésta contempla la definición de acciones operativas dadas las circunstancias reales del negocio en el período inmediato de tiempo, donde existe mayor certeza sobre el valor de ciertos parámetros como, por ejemplo, el precio.

La Planificación Táctica, comprende producción, desarrollo y preparación de mina para reemplazar reservas agotadas en el período en curso, programación de obras, adquisiciones, contratos de servicio, recurso humano, es decir, presupuesto y definición de todos los factores de operación del negocio para el período planificado.

Por otro lado, dependiendo del horizonte de planificación, se califica como, mediano o corto plazo.

#### **2.1.4. Planificación de Corto Plazo**

Este tipo de planificación en particular, se realiza con la mayor precisión posible. Considerando un horizonte de evaluación no superior a uno o dos años. Su objetivo, es intentar definir decisiones de operación a fin de obtener el máximo beneficio económico dado el escenario técnico, económico y empresarial. En este caso, condiciones de mercado, como alzas de precios de productos, insumos, servicios, pueden aprovecharse o mitigarse para un mejor desempeño en el negocio (P.L.McCarthy,2006).

El Plan de Corto Plazo obtenido, es funcional al Plan de Largo Plazo e incluye acciones para su cumplimiento.

## **2.2. Modelo de Recursos**

Resulta esencial, para realizar una adecuada planificación, conocer el contenido del elemento de interés presente en el yacimiento. Y con ello poder establecer el potencial económico y las posibles restricciones a la explotación del mismo.

Tener claridad sobre el recurso mineral es esencial para los activos de la empresa, conocer cómo es el área donde se emplaza, cuánto tiempo tomará su explotación y a qué costo.

Lo anterior se presenta en el llamado "Modelo de Bloques", que consiste en una discretización tridimensional del yacimiento, donde cada unidad presenta las características correspondientes al macizo rocoso; tales como ley, litología dureza, propiedades geomecánicas y metalúrgicas.

La información que compone al modelo de bloques, se obtiene a través de sondajes realizados para obtener muestras y poder crear computacionalmente, a partir de ellos, el modelo. Como resultado de esto, se obtiene la información de forma ordenada, detallada y manejable.

Los recursos, de acuerdo al nivel de incertidumbre que se tenga con respecto a ellos, que la mayoría de las veces guarda relación con el espaciamiento de la malla de sondajes. Se clasifican en:

- Recursos medidos
- Recursos indicados
- Recursos inferidos

## 2.4. Precio del Cobre

Una de las principales características del mercado de los metales y productos primarios, en particular el del cobre, es presentar fuertes oscilaciones y tendencias persistentes. Respecto a estas últimas, lo que sugieren es que el nivel de equilibrio del mercado es cambiante en el tiempo. Dado lo anterior, es claro que utilizar el promedio histórico para determinar el precio futuro no es una buena estrategia.

Existen además, otras variables de mercado que presentan un comportamiento irregular, con tendencias persistentes a través de periodos de tiempo. Por un lado, están los costos de producción de cobre, que determinan la estructura de la oferta de largo plazo del cobre. Y por otro, el crecimiento del consumo de cobre que ha sido altamente volátil año a año, y ha presentado niveles de crecimiento desiguales en distintos periodos. En resumen, tanto el precio del cobre como algunos de sus determinantes, han presentado fuertes oscilaciones, y tendencias diferentes a lo largo del tiempo.

De acuerdo a la forma de estimar el precio de largo plazo, COCHILCO utiliza en primer lugar una metodología, que denominada “precio incentivo”, basada en el análisis de la información del mercado y de las proyecciones de algunas de las variables relevantes para el mercado en el largo plazo. El precio incentivo de la industria se define como aquel precio que asegura la entrada de proyectos para cubrir la demanda futura estimada, y puede considerarse como una aproximación al precio de equilibrio de largo plazo del mercado del cobre. En segundo lugar se usa una aproximación estadística, que modela al precio de largo plazo como un componente no observado del precio del cobre. En términos generales, esta metodología busca descomponer la trayectoria del precio en dos componentes, un componente cíclico, cuyos efectos se desvanecen en el tiempo en ausencia de nuevos impactos (“shocks”), y un componente de tendencia, en que los impactos tienen un efecto permanente, determinando la proyección de largo plazo. También en este caso el componente de tendencia puede identificarse con un precio de equilibrio de largo plazo (COCHILCO).

Al realizar estimaciones, la variable que se busca es el precio de equilibrio de largo plazo. Que de acuerdo a la definición utilizada por COCHILCO, dice que el precio de equilibrio de largo plazo es aquel para el cual no existen incentivos para la entrada o salida de empresas. En el caso de la minería esto implica que los factores de producción reciben su pago y que los retornos de las empresas en producción son suficientes, mientras que los retornos que obtendrían los proyectos que no están en producción serían insuficientes en el largo plazo.

Cuando el precio está alejado de este equilibrio, y en ausencia de impactos (o “shocks”) a la demanda o la oferta, el precio del cobre converge hacia el equilibrio de largo plazo, a través de la entrada o salida de empresas de la producción, un proceso que, sin embargo, no es instantáneo, generándose así oscilaciones en la serie de precios. Es importante distinguir impactos de corto y largo plazo. Un alza puntual del precio del cobre, por ejemplo, no llevará inmediatamente a la salida de empresas de producción, pero si la visión de largo plazo del precio del cobre sube sustancialmente, algunas compañías dejarán de ser rentables y se verán forzadas a salir del mercado, disminuyendo la oferta y afectando el precio de cobre.

De lo anterior se desprende que el precio de equilibrio no es estático, y que diversos impactos pueden moverlo en una y otra dirección, como la difusión de nuevas tecnologías, variaciones en las reservas o la calidad de los yacimientos, y también cambios de largo plazo en el crecimiento de la demanda. Lo que generalmente se denomina “precio de largo plazo” es un resumen de la proyección del precio de equilibrio de largo plazo del mercado.

Cuando la proyección del precio de equilibrio es estable, puede resumirse en un único número, algo que implícitamente se hace al evaluar proyectos con un precio fijo. Si el precio de equilibrio sigue una trayectoria, el uso de un solo precio de largo plazo no es recomendable, pues será un promedio que depende del horizonte considerado.

En la siguiente figura se presentan estos conceptos de modo ilustrativo (no son estimaciones). El gráfico de la izquierda presenta un precio de equilibrio con una clara tendencia (en este caso una tendencia cuadrática), que se proyecta hacia el futuro. Una tendencia cuadrática tiene algún sustento económico en el caso de los metales. En la primera parte primarían el aumento de las reservas y las mejoras tecnológicas, mientras que en la segunda parte primaría la escasez. El gráfico de la derecha presenta un precio de equilibrio de largo plazo variable, pero sin una tendencia determinada, de modo que la proyección es una línea horizontal. Este modelo de precio de equilibrio corresponde al que se estima estadísticamente más adelante.

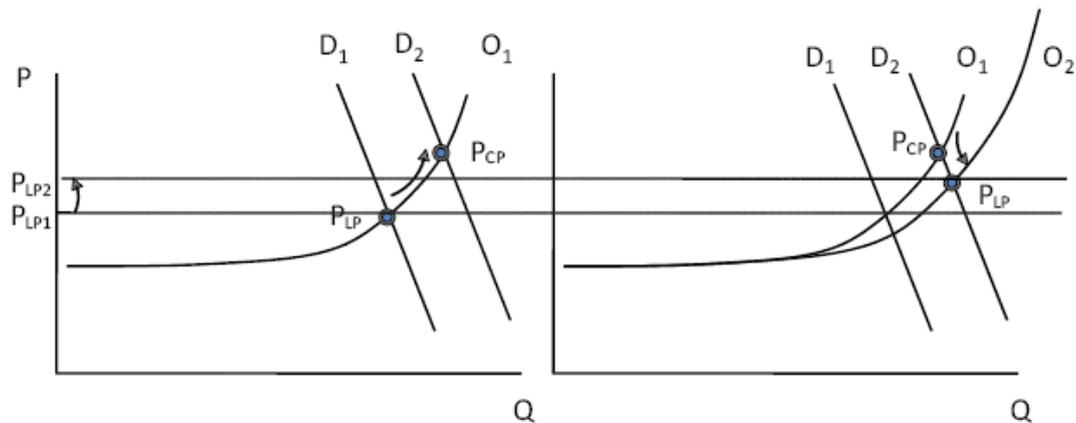
En ambos casos el precio observado oscila en torno al precio de equilibrio de largo plazo. El carácter cíclico de dichas oscilaciones es reflejo de la persistencia antes descrita. El precio de equilibrio de largo plazo no se observa directamente, y debe ser estimado.



**Figura 1: Precio de Equilibrio con y sin tendencia**

Otro aspecto importante que se desprende de estas ilustraciones es que la proyección del precio de equilibrio de largo plazo es la proyección óptima del precio cuando el horizonte es mayor. La proyección del precio observado converge rápidamente hacia el equilibrio de largo plazo (COCHILCO).

En la evaluación de proyectos mineros, los primeros años suelen corresponder a la construcción, por lo que corresponde usar el precio de equilibrio para el momento en que el proyecto entraría en producción. De cualquier manera, si el proyecto comenzara a producir en un horizonte cercano, puede usarse una proyección del precio observado para los primeros años. Un último aspecto conceptual a considerar es la influencia del crecimiento de la demanda en el precio de equilibrio de largo plazo. Una curva de oferta de largo plazo horizontal implicaría que el nivel de la demanda no tiene efectos de largo plazo. Sin embargo, en el caso de la producción de cobre, la diferencia en la calidad de los yacimientos y la tecnología aplicada conducen a una oferta que no es horizontal sino creciente.



**Figura 2: Cambio en la estructura de costos y precio de largo plazo. Donde,  $P$  corresponde al precio,  $Q$  corresponde a la demanda.  $P_{LP}$  y  $P_{CP}$ , al precio de largo y corto plazo respectivamente.  $O_1$  y  $O_2$ ,  $D_1$  y  $D_2$ , corresponden a la oferta y demanda inicial y final respectivamente.**

La figura anterior ilustra esquemáticamente un cambio en el precio de largo plazo provocado por un cambio en la demanda. Cabe notar que para efectos del cálculo del precio incentivo, la demanda se considerará altamente inelástica respecto del precio, por lo que se hablará indistintamente de consumo o demanda. En cambio, la demanda es relativamente elástica frente al ingreso, lo que hace que las proyecciones de demanda se deriven a menudo del crecimiento económico o la producción industrial.

Se observa también, que un impacto mueve la curva de demanda hacia la derecha, generándose un nuevo equilibrio de corto plazo, pero al estimularse la entrada de nueva producción, el precio converge hacia el equilibrio de largo plazo. Sin embargo, este equilibrio es diferente, debido a que la nueva producción se añade a la parte más extrema de la curva de oferta, cambiando su estructura. Esto puede ocurrir si los proyectos nuevos enfrentan, por ejemplo, leyes más bajas o una menor escala (y no pueden aprovechar rendimientos de escala). Si, en cambio, los nuevos proyectos fueran idénticos a la producción existente, el precio de largo plazo no sufriría variación, pues la oferta crecería proporcionalmente.

Cada metodología tiene ventajas y desventajas. La aproximación del precio incentivo permite una mejor comprensión de las causas que originan un cambio en la proyección del precio de largo plazo, ya sea a través de cambios en la estructura de costo, en la presión de la demanda, o en el costo de inversión. Sin embargo, involucra la proyección de muchas variables, que no son necesariamente más fáciles de proyectar que el propio precio del cobre. Además, requiere de

algunos parámetros y supuestos que se definen en base al juicio. La metodología estadística o econométrica, en cambio, no entrega información respecto de la causa de los cambios en la proyección, pero evita realizar proyecciones de numerosas variables y supuestos basados en el juicio. Además, entrega una estimación del nivel de incertidumbre asociado a la proyección y permite, con ciertas restricciones derivadas de la corta historia de precios del cobre, la evaluación de los errores de proyección (COCHILCO).

## **2.5. Antecedentes de la faena**

Como resultado de la fusión entre las divisiones Chuquicamata y Radomiro Tomic el año 2002, se creó Codelco Norte.

El complejo minero de Chuquicamata está ubicado a 1.650 kilómetros al norte de Santiago, a 2.870 metros sobre el nivel del mar. Cuenta con dos minas donde el tipo de explotación es a rajo abierto, "Chuquicamata" y "Mina Sur". Mina Chuquicamata entró en operaciones en 1910, aunque sus propiedades mineras también eran conocidas desde hace siglos por culturas prehispánicas.

Radomiro Tomic está ubicada a 1.670 kilómetros de Santiago, a 3.000 metros sobre el nivel del mar en la cordillera de Los Andes. Se trata de un yacimiento donde el tipo de explotación es a rajo abierto para la obtención de minerales oxidados. Aunque fue descubierto en la década de 1950, sus operaciones comenzaron en 1995, después de que Codelco actualizó los estudios sobre la factibilidad de su explotación y contó con la tecnología necesaria para explotarlo de manera económicamente rentable.

La producción de Codelco Norte es de unas 755.258 toneladas de cátodos electrorefinados y electroobtenidos con una pureza de 99,99 por ciento de cobre. También produce unas 12.900 toneladas métricas de contenido fino de molibdeno. Además, se obtienen otros subproductos, como barros anódicos y ácido sulfúrico.

Dentro de los proyectos principales, se encuentra la ejecución del proyecto Explotación Sulfuros Radomiro Tomic (agosto 2008). Se trata de un sistema de chancado y traspaso de material para transportar minerales sulfurados del yacimiento Radomiro Tomic hasta las plantas concentradoras de Chuquicamata, ubicadas a 8,2 kilómetros de distancia.

Paralelamente, se avanzó en el estudio de prefactibilidad del proyecto Mina Chuquicamata Subterránea, que ayudará a extraer los recursos mineros ubicados debajo del actual rajo, el que dejará de ser rentable hacia fines de la siguiente década. La iniciativa tiene una inversión estimada

en US\$ 2.000 millones y supone la transformación del rajo más grande del mundo en una operación subterránea. Su capacidad de producción en régimen será de 340 mil toneladas de cobre fino anuales durante al menos 50 años. Mina Chuquicamata Subterránea inició su estudio de factibilidad durante 2009.



**Figura 3: CODELCO Norte**

En Mina Chuquicamata, el sistema de chancado primario, está compuesto por las estaciones E4 y M1. En la figura a continuación, se muestra la ubicación de los chancadores en la mina.



**Figura 4: Ubicación Chancadores en Mina Chuquicamata**

La planta Concentradora, constituye un centro único de procesamiento que se encuentra formada por:

- Chancado Primario Chuquicamata
- Chancado secundario y terciario
- Molienda
- Flotación
- Planta de Flotación y Tostación de Molibdeno
- Espesaje de Filtrado y Concentrados
- Espesaje
- Tratamiento y Deposición de Relaves

La línea de sulfuros, cuenta con la Concentradora Chuquicamata potenciada a 230 ktpd y abastecida desde distintos yacimientos. Y el molibdeno es tratado en la Planta de Flotación y Tostación de Molibdeno.

La siguiente figura, muestra el flowsheet de Mina Chuquicamata, desde que el mineral es extraído de la mina, hasta el producto final.

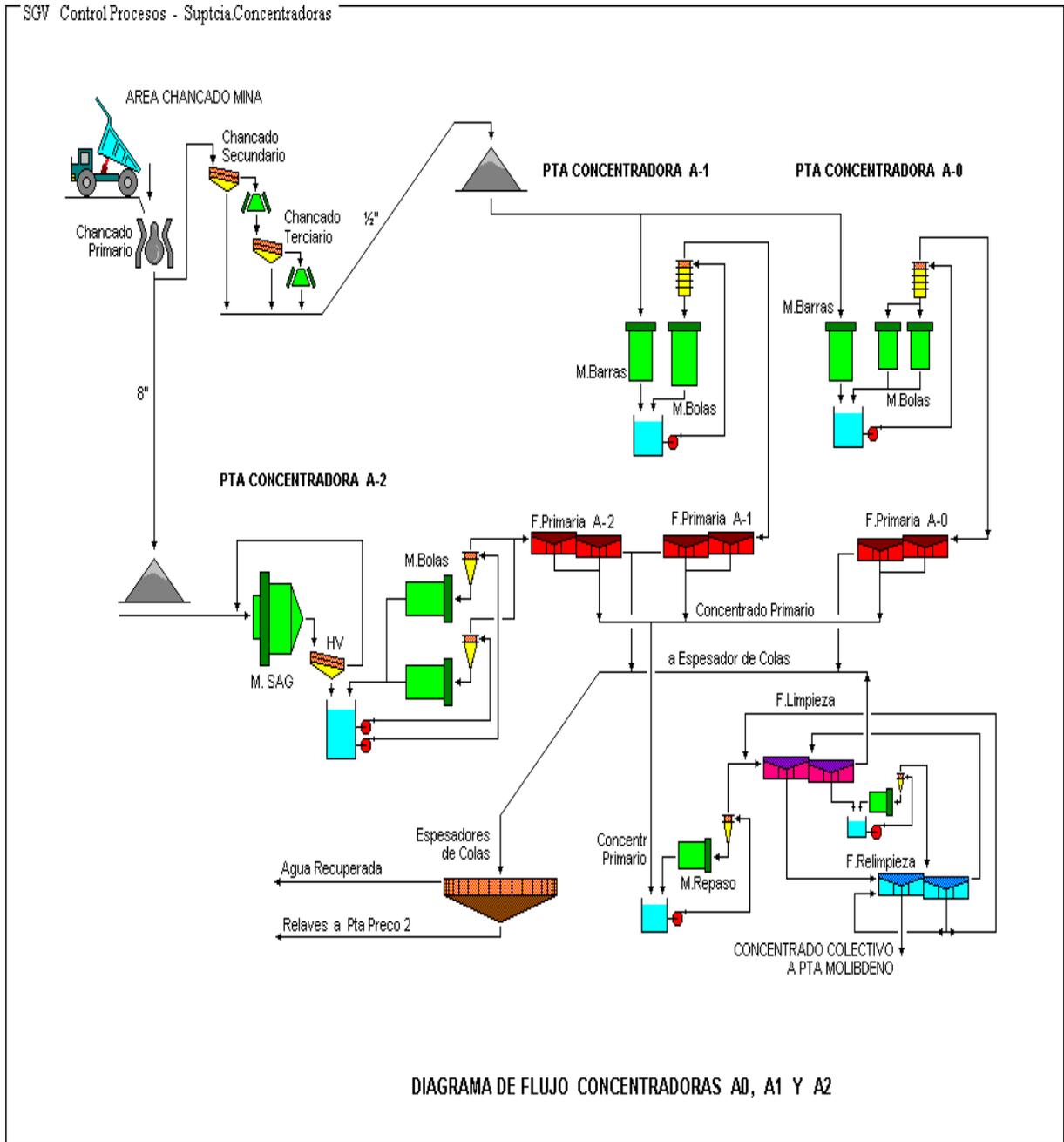


DIAGRAMA DE FLUJO CONCENTRADORAS A0, A1 Y A2

Figura 5: Flowsheet de Mina Chuquicamata

### **CAPITULO 3: Construcción de los Pits Anidados**

Como se mencionó con anterioridad, el trabajo a realizar, tiene como objetivo principal, evaluar diferentes metodologías de planificación de largo plazo en Mina Chuquicamata en función de las variaciones del precio del cobre. Y a partir de ello, determinar un criterio de planificación que permita maximizar el valor del negocio en base a condiciones reales de mercado.

Para llevar a cabo el objetivo planteado, es necesario realizar diferentes planes en base a distintas metodologías y escenarios de precios. Para lo cual, se tomará como caso base, el plan de largo plazo ya realizado por CODELCO Norte, para los periodos 2004 al 2009 y del 2010 al fin de la mina, con el fin de ajustarse a la realidad de la faena que ya se encuentra en operación y casi al final de su vida.

Con objeto de obtener planes que sean comparables entre si y comparables a los planes de largo plazo de CODELCO Norte que se utilizarán como base. Resulta vital, que las fases que se utilicen para realizar dichos planes, se ajusten a las utilizadas en el plan de CODELCO Norte.

El presente capítulo muestra cómo obtener pits anidados en Whittle, a partir del diseño de las fases, medias lunas, del plan de largo plazo de CODELCO Norte del año 2004, agregando las requeridas para el plan de largo plazo del año 2010 al fin de la mina. Como resultado de este ejercicio, se obtendrán pits anidados que se ajustan perfectamente al diseño de las fases.

Se realizaron varios ejercicios con anterioridad intentando obtener en Whittle una secuencia de pits anidados que se ajustaran a las fases previamente diseñadas, y se obtuvo que el ejercicio que se presenta a continuación es la mejor manera de lograr el resultado buscado.

A continuación se muestran las cubicaciones del total de materiales y el desglose en estéril y mineral del pit final a partir de las fases diseñadas por CODELCO Norte (MineSight) y del pit final obtenido en Whittle al aplicar la metodología que se detallará en éste capítulo.

<b>Mineral Total [kt]</b>		<b>Estéril [kt]</b>		<b>Movimiento Mina [kt]</b>	
<b>Whittle</b>	<b>MineSight</b>	<b>Whittle</b>	<b>MineSight</b>	<b>Whittle</b>	<b>MineSight</b>
1,164,268	1,063,607	910,509	942,225	2,074,777	2,005,832

**Tabla 1: Cubicaciones en MineSight y Whittle del mineral, estéril y movimiento mina total.**

### 3.1. Modelo de Bloques

El Modelo de Bloques utilizado para el desarrollo de los ejercicios que contempla la memoria, corresponde al mismo utilizado por CODELCO Norte para realizar el plan de largo plazo del año 2004. Dicho modelo contiene la información recopilada hasta diciembre del año 2002.

Un antecedente importante a tener en consideración, es el hecho de que el modelo debió ser regularizado a una altura de banco constante. Lo anterior debido a requerimientos del software que se utilizó para realizar los planes. Es decir, el modelo inicial tenía bloques con alturas variables de 15, 16, 17 y 18 metros, los cuales fueron llevados a una altura constante de 18 metros.

#### 3.1.1. Extensión del Modelo

Las principales características del modelo de bloques de Mina Chuquicamata en cuanto a extensión, coordenadas y dimensiones de los bloques se detallan en la tabla siguiente.

Coordenadas		Mínimo [m]	Máximo [m]	Tamaño bloque [m]	Número bloques
Este	X	500	6,500	20	300
Norte	Y	1,500	6,400	20	245
Cota	Z	1,193	3,335	18	119
Total Bloques					8,746,500

*Tabla 2: Características del Modelo de Bloques*

#### 3.1.2. Variables del Modelo

El Modelo de Bloques utilizado, contiene seis variables que se detallan en la tabla a continuación:

UGM	unidad geológica minera (0, 1 y 2)
CUT	ley de cobre total
MOLY	ley de molibdeno
AS	ley de arsénico
DENS	densidad del bloque
RECU	recuperación metalúrgica

*Tabla 3: Variables del Modelo de Bloques*

Los tipos de roca (UGM) entre los cuales se clasifican los bloques son: óxidos, sulfuros y lastre. Pero por consideraciones de Whittle, los tipos de roca fueron redefinidos en

1. SBL y OBL (sulfuros y óxidos de baja ley)
2. Sulfuros
3. Lastre.

Bajo la categoría de SBL y OBL, se encuentran todos los óxidos y sulfuros de baja ley, que corresponden a la suma de los óxidos con leyes de cobre sobre 0.2%, con los sulfuros con leyes de cobre desde 0.2% hasta 0.39%.

Por otro lado, los sulfuros, corresponden a todos los sulfuros con leyes desde 0.4% de cobre. A continuación se presenta en Millones de toneladas el total de OBL y SBL, sulfuro y lastre presentes en el modelo.

Tipo de Roca		Mton
0	Lastre	64,756
1	OBL y SBL	2,864
2	Sulfuro	7,852

**Tabla 4: Cubicación por tipo de roca**

### 3.1.3. Elementos

Los elementos importantes considerados para trabajar son el cobre y el molibdeno. El modelo presenta 4,313 millones de toneladas de cobre total con una ley máxima de 3.8% de cobre y 114 millones de molibdeno a una ley máxima de hasta 0.626% de molibdeno.

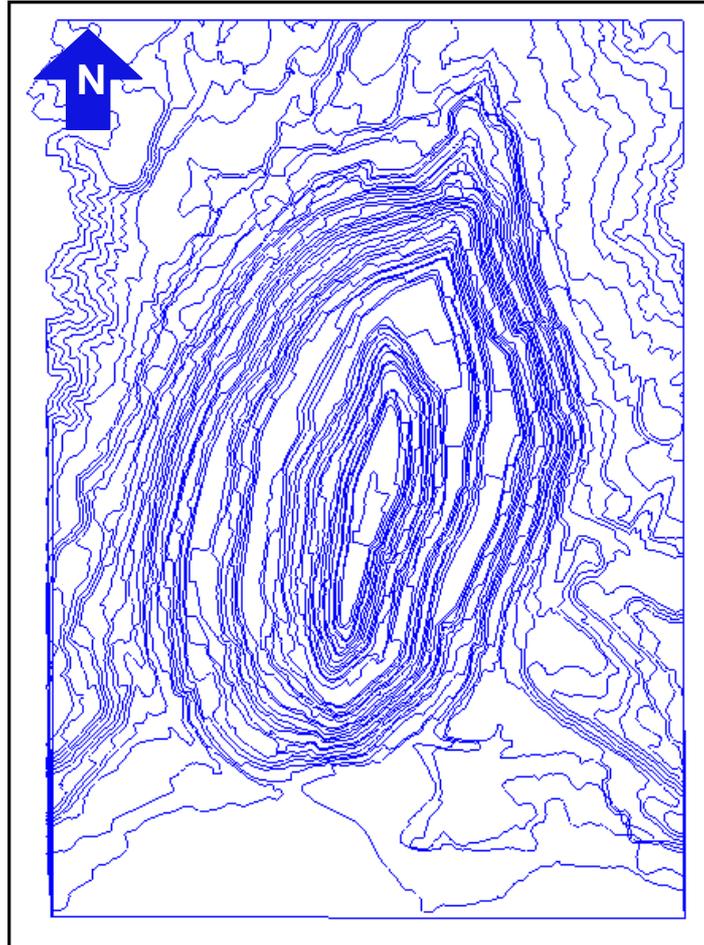
A continuación, se presenta el detalle de las leyes medias de cobre y molibdeno por tipo de roca.

Tipo de Roca	Elemento	ley media [%]
Lastre	Cu	0.0058
	Mo	0.0046
OBL y SBL	Cu	0.2734
	Mo	0.0045
Sulfuro	Cu	0.4017
	Mo	0.0114

**Tabla 5: Ley Media por elemento**

### 3.2. Topografía

La topografía utilizada corresponde a la final de Mina Chuquicamata para el año 2003. Que es la misma que se utilizó en el plan de largo plazo realizado por CODELCO Norte el año 2004. A continuación se presenta una vista en planta de la topografía utilizada.

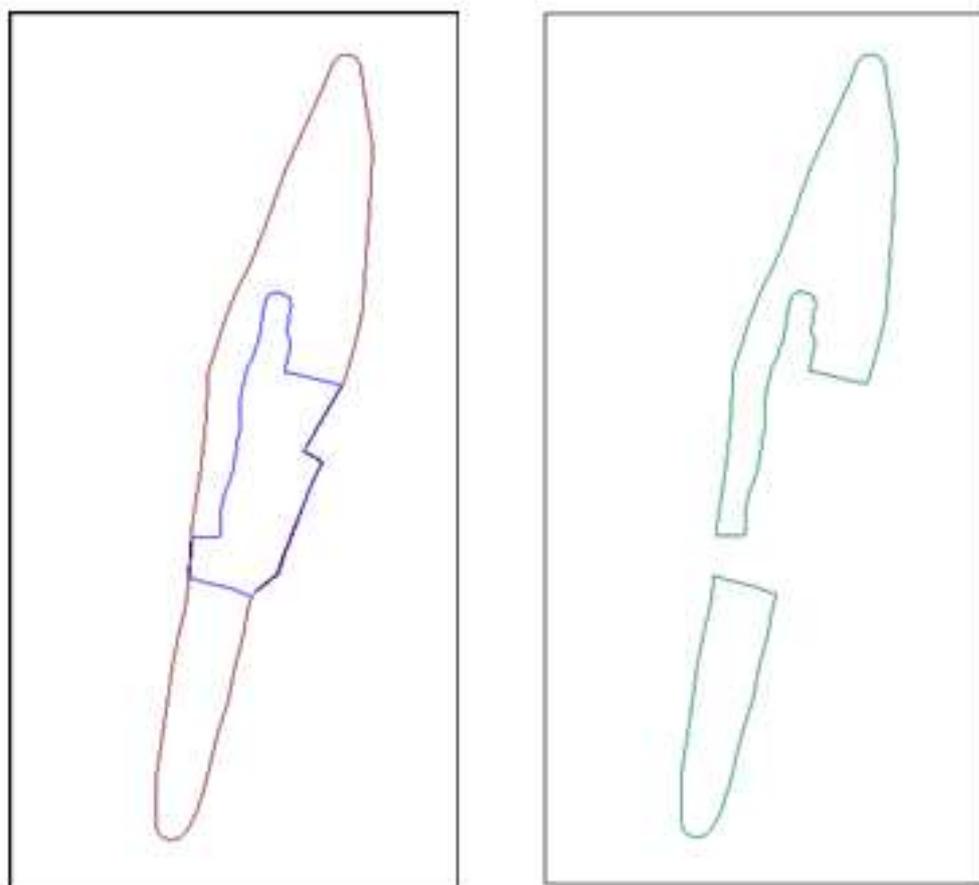


*Figura 6: Vista en planta topografía inicial Rajo Chuquicamata*

### 3.3. Medias Lunas

Las denominadas medias lunas, corresponden a los polígonos que definen una fase determinada. Están definidas por la intersección de la topografía de la mina con las líneas que definen el diseño de la fase.

A continuación, a modo de ejemplo, se presenta el plano correspondiente a la cota 2,183 m.s.n.m de la fase 39. La figura de la izquierda muestra en azul la línea correspondiente a la topografía; y en rojo se muestra la línea del diseño de la fase 39 para dicho plano. La figura de la derecha, muestra la media luna formada por las líneas de la topografía y el diseño.



*Figura 7: Media Luna cota 2,183 n.s.n.m*

### **3.4. Metodología**

A continuación se detalla el procedimiento a seguir para obtener los pit anidados en Whittle a partir del diseño de las fases que se tienen en MineSight de acuerdo al plan de largo plazo del año 2004 de CODELCO Norte.

### **3.4.1. Metodología para Minar de Modelo de Bloques**

Todo el procedimiento se lleva a cabo utilizando MineSight

1. Cargar en MineSight el modelo de bloques y la topografía.
2. Intersectar ambos objetos de manera de cortar el modelo con la topografía.
3. Crear una nueva variable en el modelo de bloques, llamada "TOPO", cuyo valor vendrá dado por un porcentaje. Esta variable indicará, para cada bloque, que porcentaje se encuentra bajo la topografía y cual sobre la superficie.
4. Asignar, creando un script, el valor a la variable "TOPO". De la siguiente forma: Asignar "0%" a todos los bloques que se encuentran sobre la topografía, "100%" a todos los bloques bajo y un valor intermedio a los bloques que son cortados por la topografía, dependiendo de cuál sea el porcentaje del bloque que se encuentre bajo ella.
5. Exportar el modelo minado en un archivo llamado "run603.a" que puede ser leído por Whittle.

### **3.4.2. Metodología para generar los Pit Anidados**

El procedimiento hasta el punto 6, se lleva a cabo utilizando MineSight. Desde ahí en adelante, el software utilizado es Whittle.

1. Cargar en MineSight los archivos dxf que contienen las medias lunas, que corresponden a los polígonos que encierran el sector donde se encuentra la fase. Son 11 fases en total (9 en la primera etapa y 2 en una etapa posterior).
2. Generar sólidos a partir de los polígonos antes mencionados.
3. Crear una nueva variable en el modelo de bloques, llamada "FASE", dicha variable corresponderá a un número entero del 1 al 11 (1 al 9 la para la primera etapa y luego se agregan el 10 y 11 durante una segunda etapa).
4. Asignar a la variable "FASE", para cada bloque del modelo, el número correspondiente a la fase a la que pertenece el bloque.
5. Exportar el modelo de bloques con las variables: coordenadas i, j, k; y FASE
6. Crear una macro que permita adecuar el archivo obtenido anteriormente, al formato requerido por Whittle para el tipo de archivo con extensión pil.

7. Cargar en Whittle el modelo de bloques minado contenido en el archivo "run603.a". Al realizar este procedimiento, se genera en Whittle un archivo de extensión "mod", que corresponde al modelo de bloques con el que se trabajará.
8. Setear las unidades con las que se trabajará, revisar las coordenadas de origen, dimensiones de los bloques, el contenido de Cu, Mo, tonelaje total, densidad y correr el modelo. Como resultado de lo anterior, Whittle generará un archivo de extensión "par", el cual contiene las características del modelo.
9. Utilizando la herramienta de Whittle "create pitshells from pit list", crear los pits anidados. Para ello será necesario entregar al programa el archivo de extensión pil, creado en el procedimiento anterior; y los archivos de extensión "mod" y "par". Como resultado de este paso, Whittle, generará una serie de pits anidados que corresponderán exactamente, a las fases entregadas en el archivo "pil", con la secuencia que corresponda.

Cabe señalar, que dados los requerimientos de los ejercicios realizados presentados en los capítulos 4 y 5, fue necesario realizar dos veces este procedimiento. La primera vez, considerando desde la fase 39 a la fase 53; y la segunda vez considerando desde la fase 39 hasta la fase 50.

### **3.5. Pits Anidados**

A continuación se muestran los pits obtenidos a partir del diseño de las fases de acuerdo al plan de largo plazo de CODELCO Norte del año 2004. La secuencia de figuras del lado izquierdo muestra el sólido obtenido del diseño de las fases. Y la secuencia de figuras al lado derecho, muestra los pits anidados obtenidos en Whittle a partir de la fase que se muestra al lado izquierdo.

Por otra parte, además se muestra, gráficamente, el mineral, el estéril, y la ley de cobre del mineral catalogado como sulfuro (sulfuros con leyes de cobre a partir de 0.4) contenidos en cada banco para cada pit anidado.

1. Fase 39

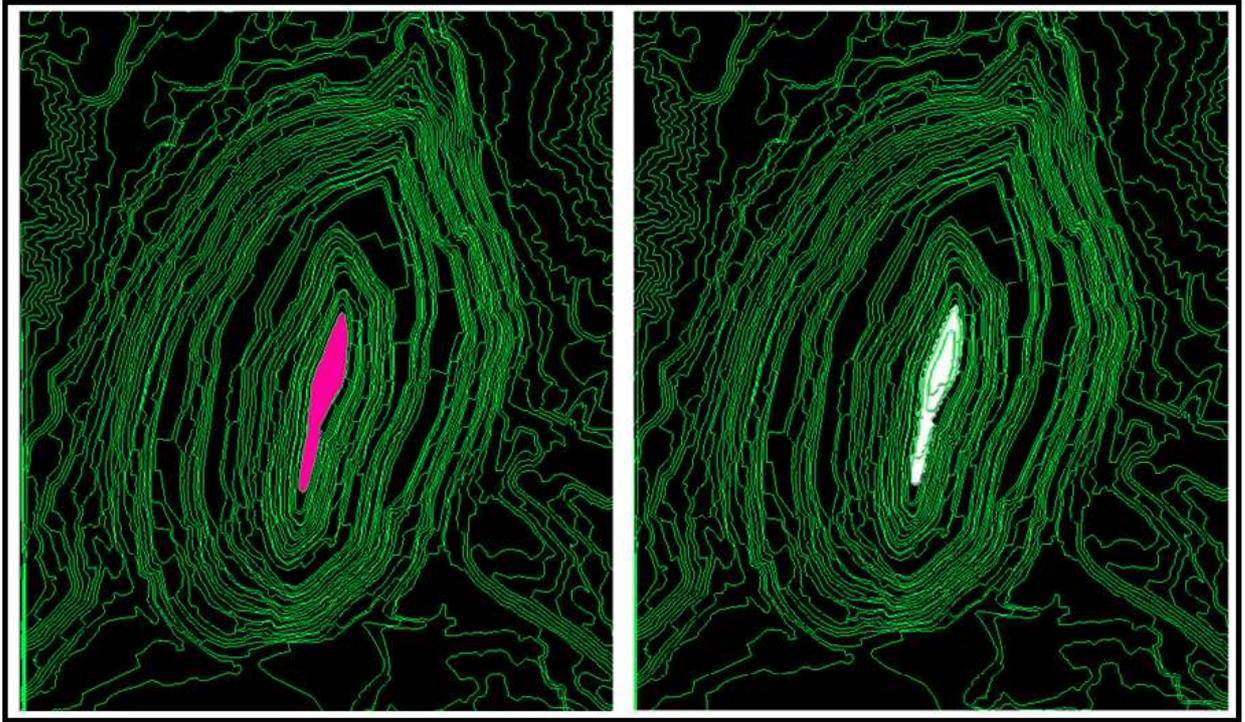


Figura 8: Fase 39. Izquierda: sólido en MineSight. Derecha: Pit en Whittle

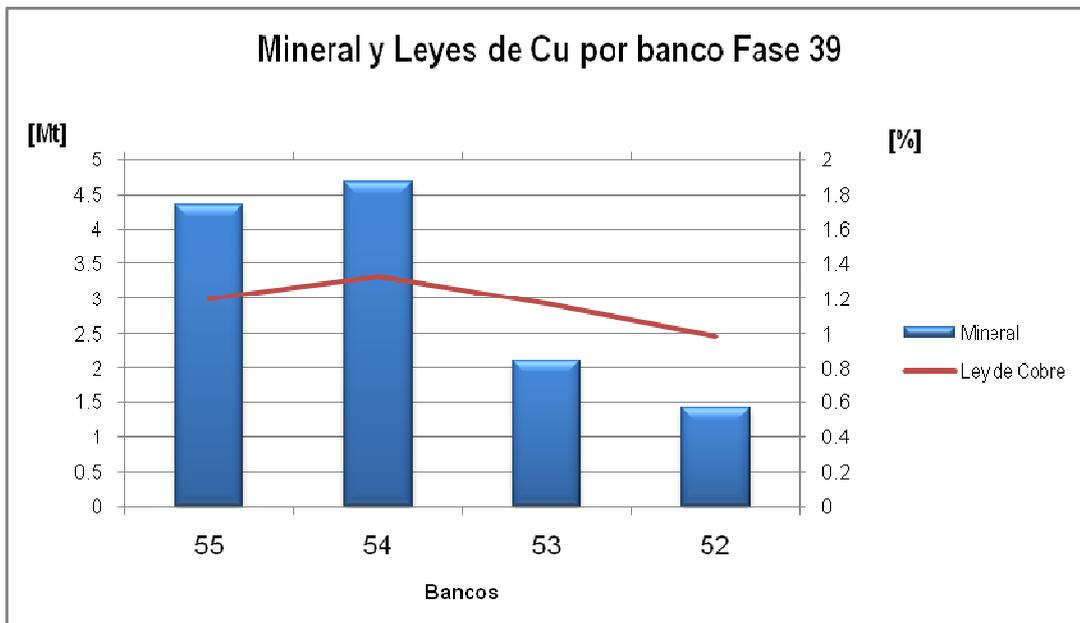
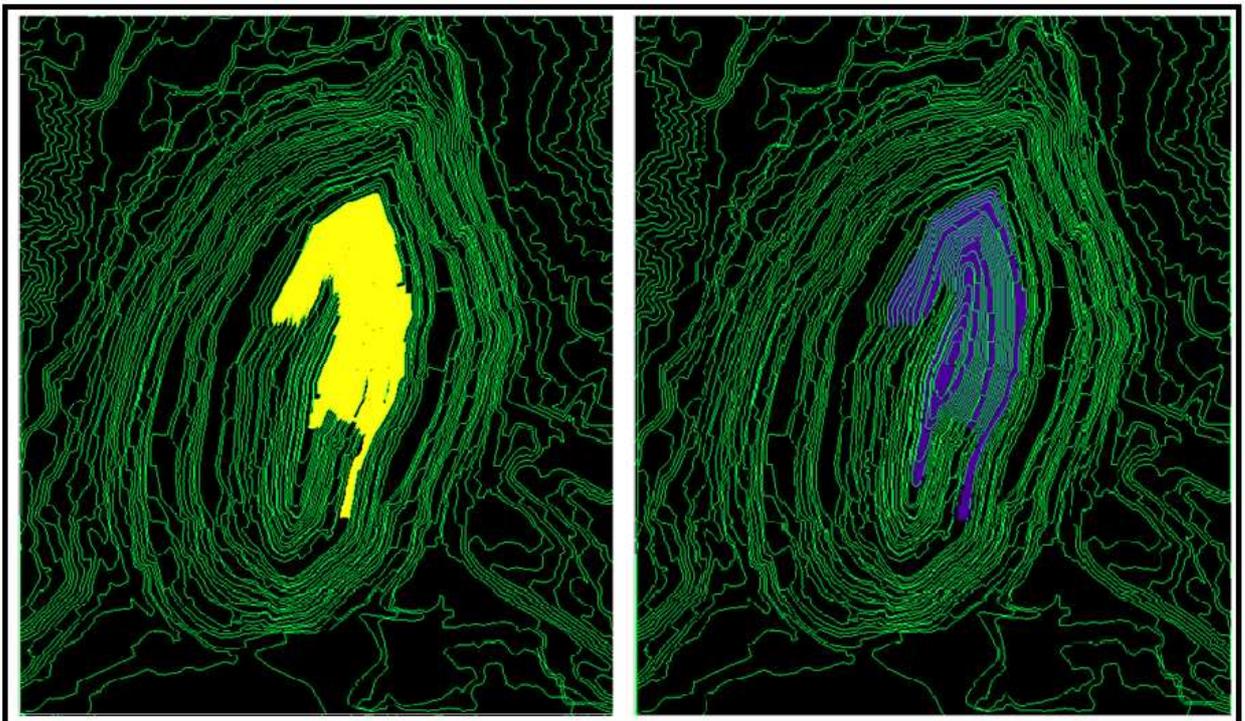


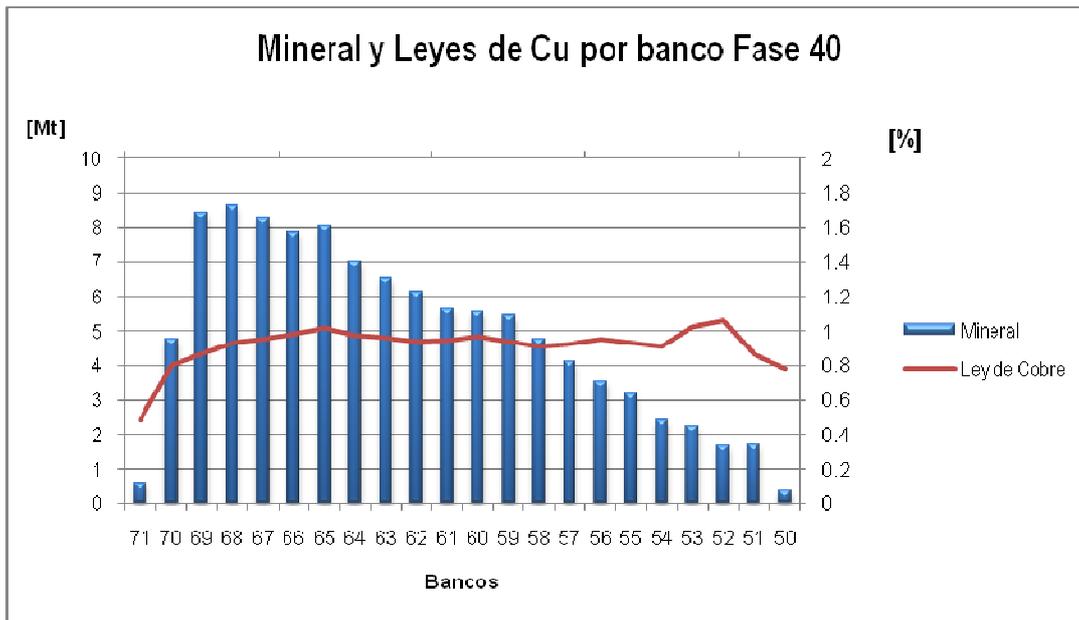
Gráfico 1: Mineral y leyes de cobre por banco fase 39

La fase 39, se encuentra ubicada en el fondo del rajo. Y está formada por cuatro bancos que solo contienen mineral, con una ley media de 1.2 % de cobre del mineral catalogado como sulfuros; es decir todos los sulfuros con leyes de cobre a partir de 0.4%, que son los requeridos por la planta concentradora.

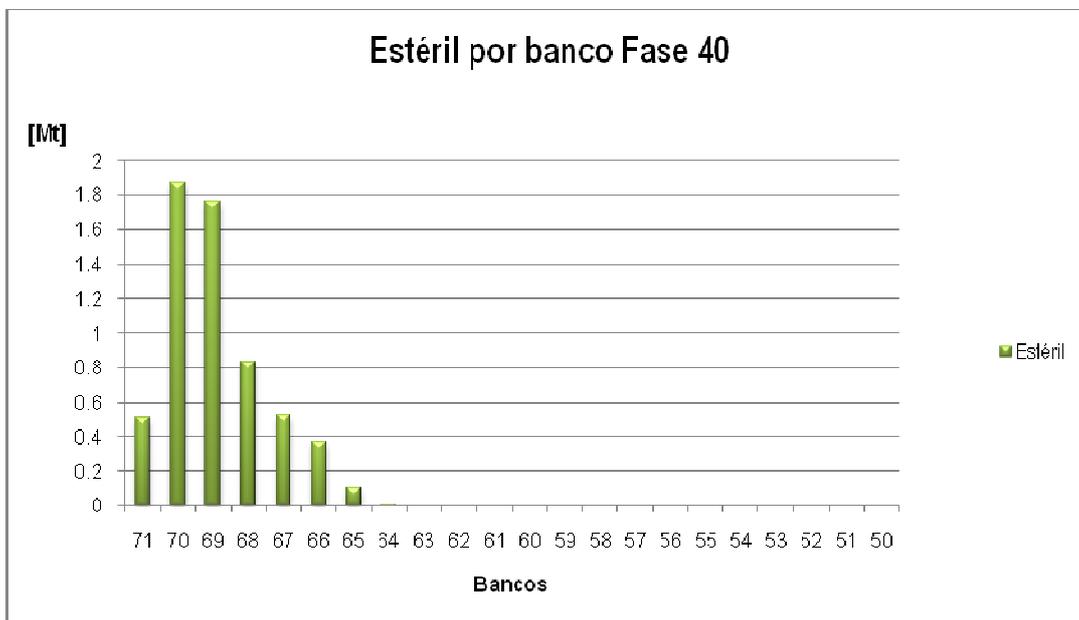
## 2. Fase 40



**Figura 9: Fase 40. Izquierda: sólido en MineSight. Derecha: Pit en Whittle**



**Gráfico 2: Mineral y leyes de cobre por banco fase 40**



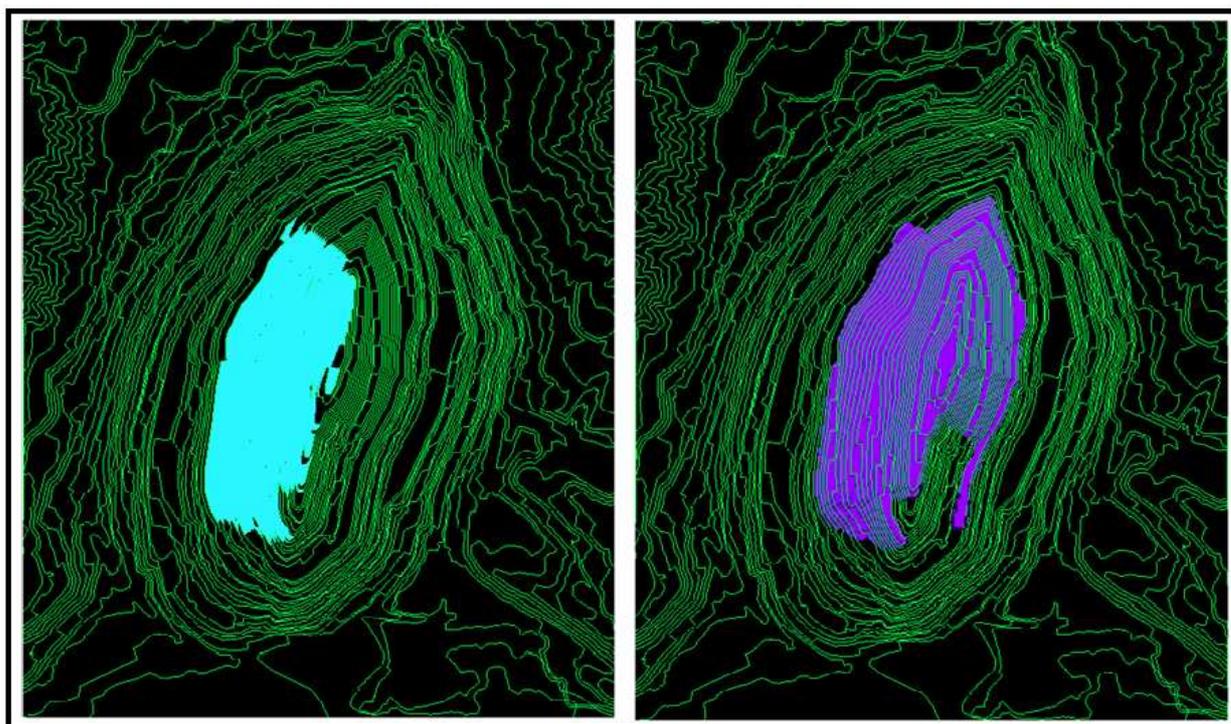
**Gráfico 3: Estéril por banco fase 40**

La fase 40 está formada principalmente por mineral, 107 [Mt] frente a 6 [Mt] de estéril. La ley media del mineral clasificado como sulfuro es de 0.96% de cobre a partir del quinto banco. El estéril se encuentra distribuido entre los siete primeros bancos, presentando la mayor concentración desde el segundo al cuarto banco, para disminuir luego hasta el séptimo banco.

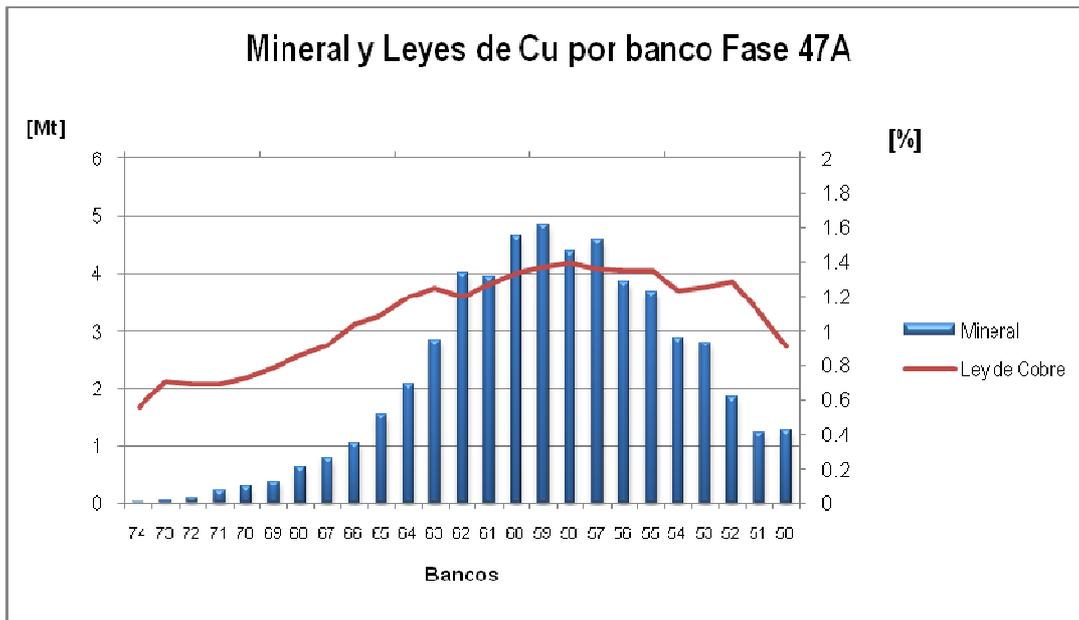
Como se observa en el gráfico “Mineral y leyes de cobre por banco fase 40”, en los bancos más profundos, la fase presenta una disminución en la cantidad de mineral, acompañado de un aumento de las leyes, llegando a leyes de 1.1% de cobre.

La ubicación de esta fase, corresponde al lado noreste del rajo. Y el total de bancos que la componen es veintidós.

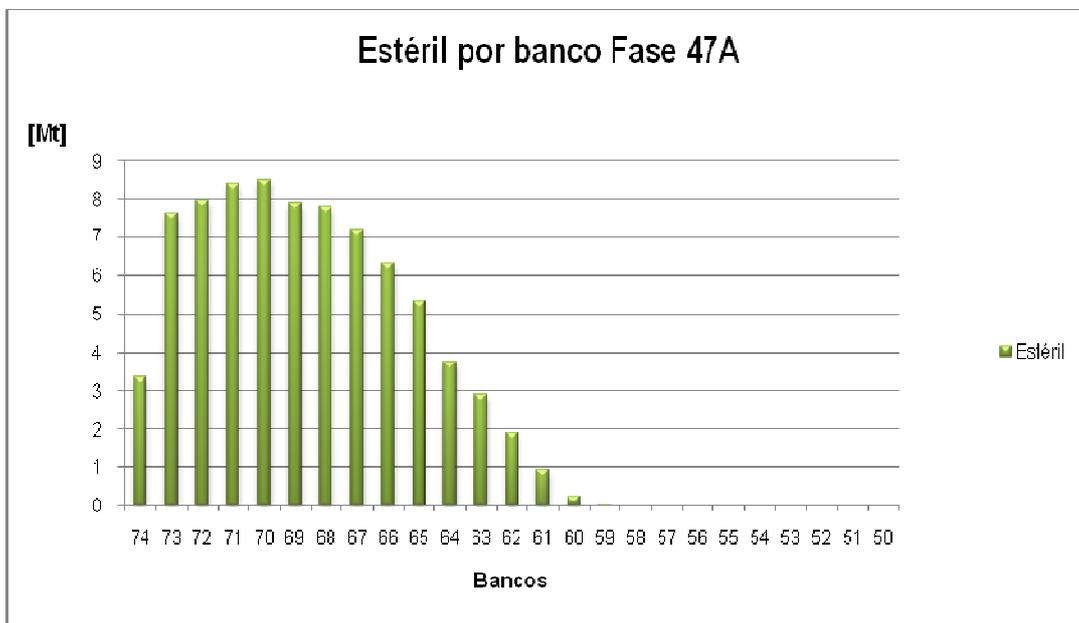
### 3. Fase 47A



**Figura 10: Fase 47A. Izquierda: sólido en MineSight. Derecha: Pit en Whittle**



**Gráfico 4: Mineral y leyes de cobre por banco fase 47A**



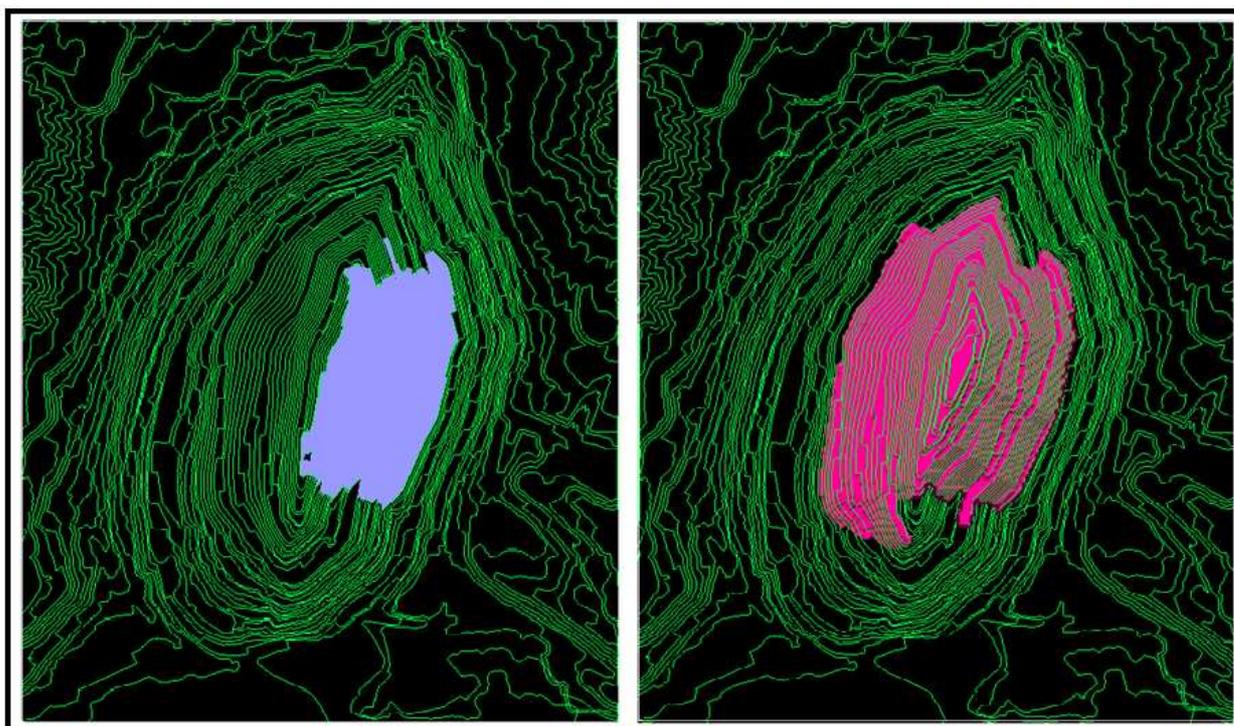
**Gráfico 5: Estéril por banco fase 47A**

La fase 47 A, se encuentra ubicada al lado oeste del rajo de Mina Chuquicamata. Está formada por veinte y cinco bancos.

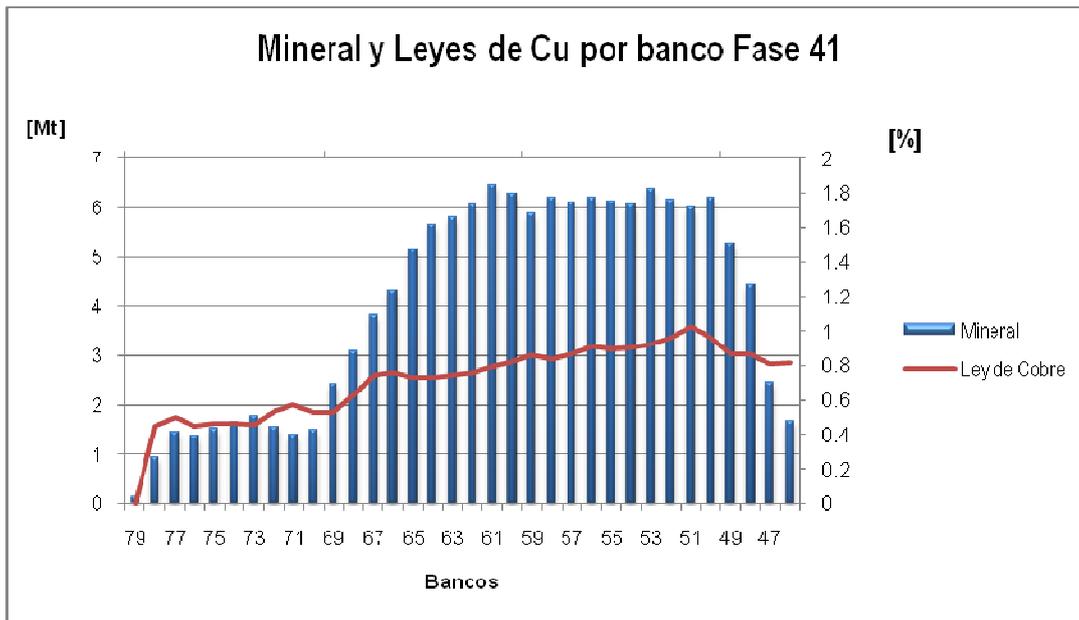
De los gráficos anteriores se desprende que, el estéril se encuentra en la primera mitad de bancos, mientras que el mineral se concentra, en su mayoría, en la mitad más profunda de bancos. El estéril asciende a los 80 [Mt], mientras que el mineral llega a los 53 [Mt].

Respecto a las leyes de cobre del mineral clasificado como sulfuros, mineral requerido por la planta concentradora. Aumentan a medida que aumenta la profundidad de los bancos, comenzando con leyes de 0.6% de cobre y llegando a leyes de 1.4% de cobre. La ley media es de 1.1 % de cobre.

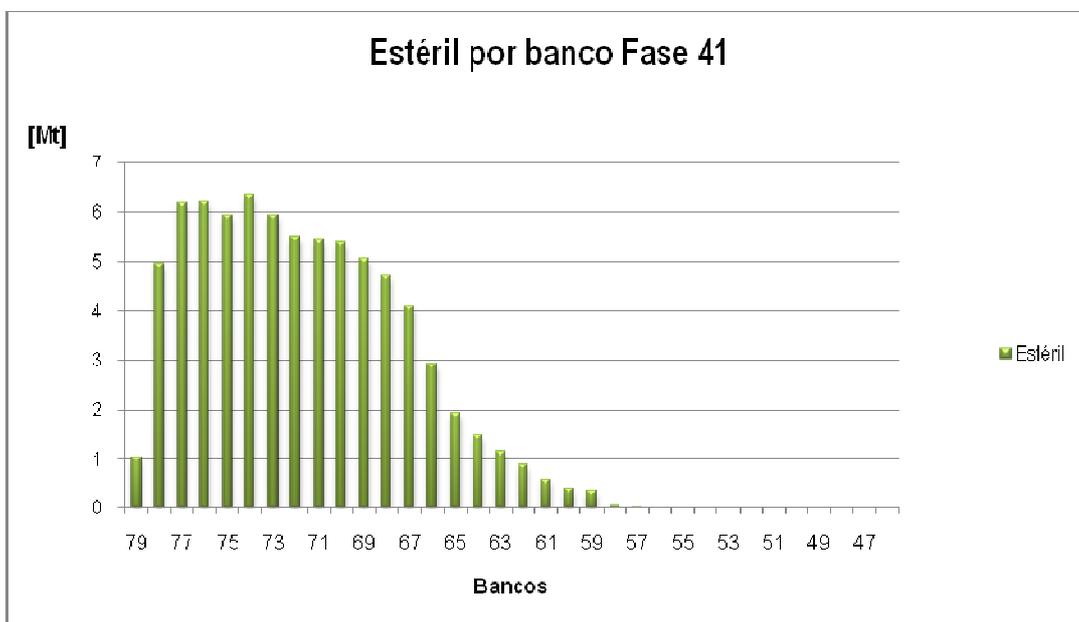
#### 4. Fase 41



**Figura 11: Fase 41. Izquierda: sólido en MineSight. Derecha: Pit en Whittle**



**Gráfico 6: Mineral y leyes de cobre por banco fase 41**



**Gráfico 7: Estéril por banco fase 41**

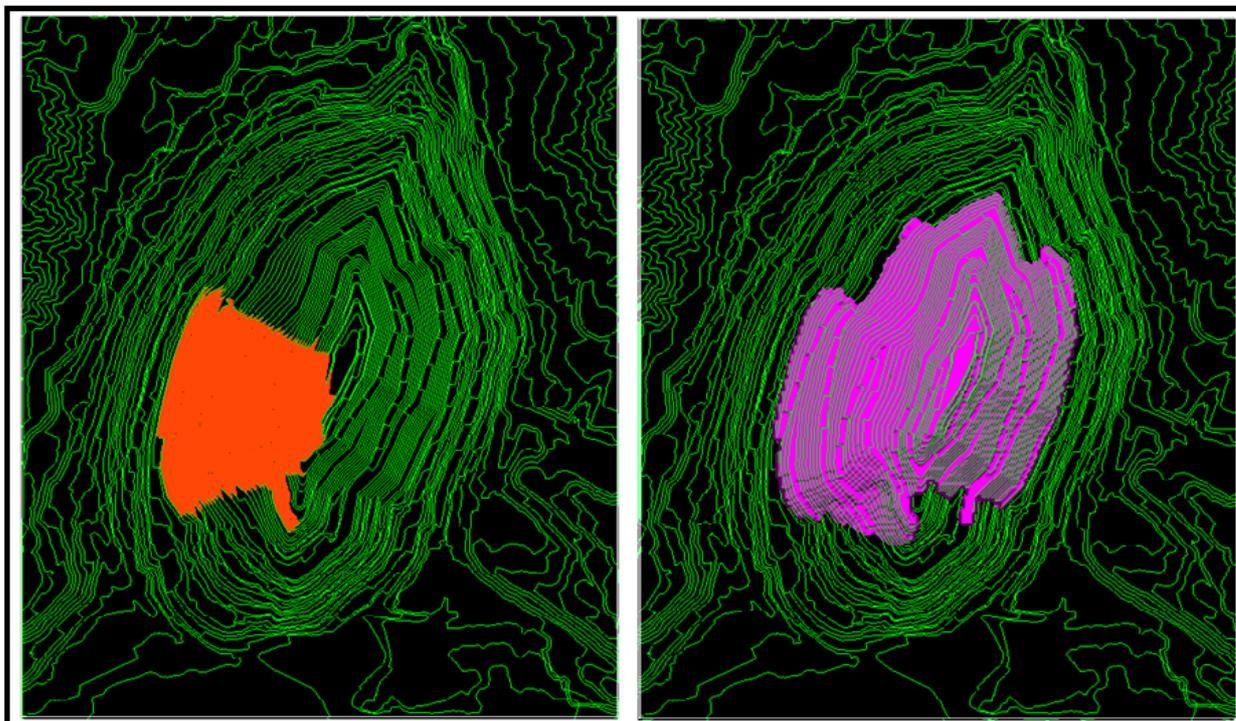
La fase 41, se encuentra constituida por treinta y cuatro bancos, entre los que se distribuyen 137.6 [Mt] de mineral y 76.4 [Mt] de estéril. El mineral se encuentra presente en todos los bancos; en forma uniforme en los diez primeros, para aumentar luego, llegando a bancos con más de 6 [Mt], a partir de la mitad de bancos más profundos.

Respecto a las leyes de cobre del mineral catalogado como sulfuros; aumentan progresivamente con la profundidad de los bancos. Teniendo al principio, en los doce primeros bancos, una ley media de 0.46 de cobre, y para el resto de bancos más profundos, la ley promedio es de 0.85% de cobre. La ley media de la fase completa es de 0.7% de cobre.

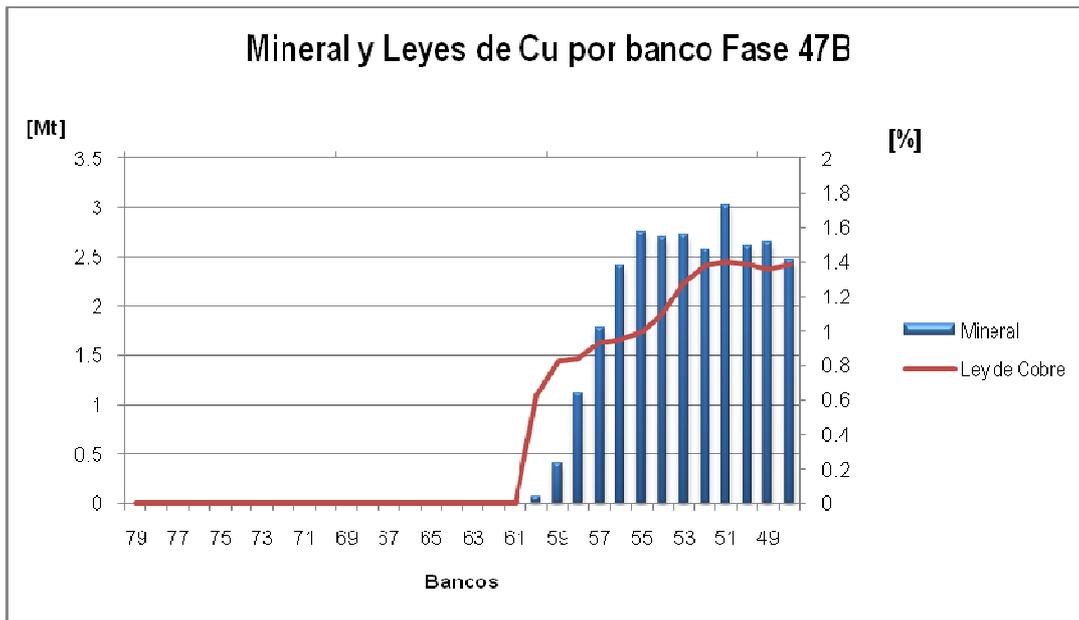
El estéril se encuentra distribuido en los 23 primeros bancos, concentrando su mayoría en la primera mitad de bancos más superficiales.

La ubicación de la fase 41, corresponde al sector este de la mina.

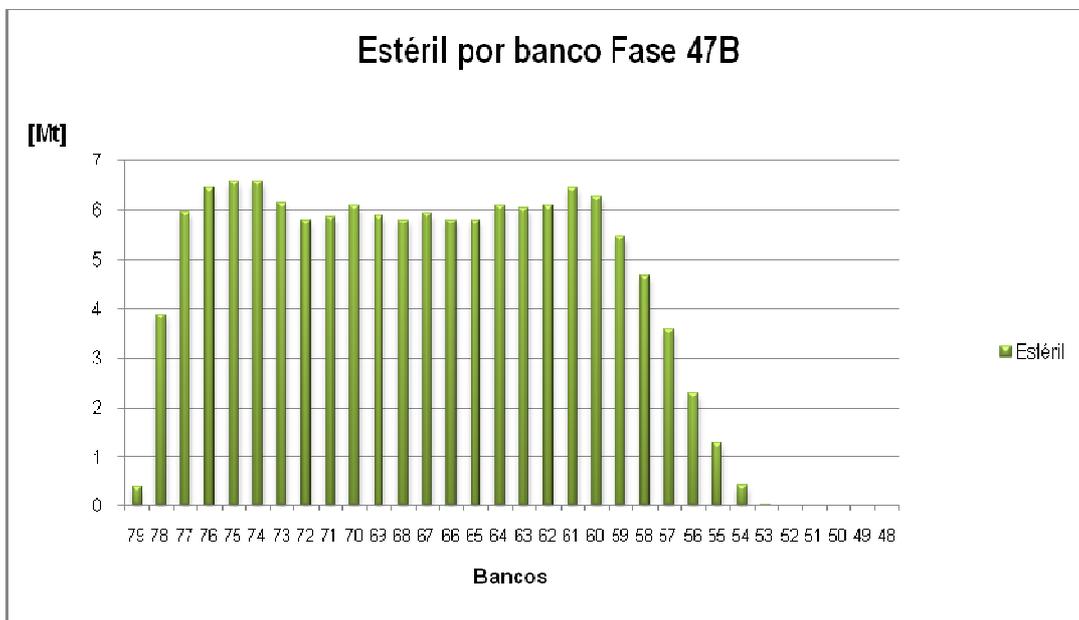
#### 5. Fase 47B



**Figura 12: Fase 47B. Izquierda: sólido en MineSight. Derecha: Pit en Whittle**



**Gráfico 8: Mineral y leyes de cobre por banco fase 47B**



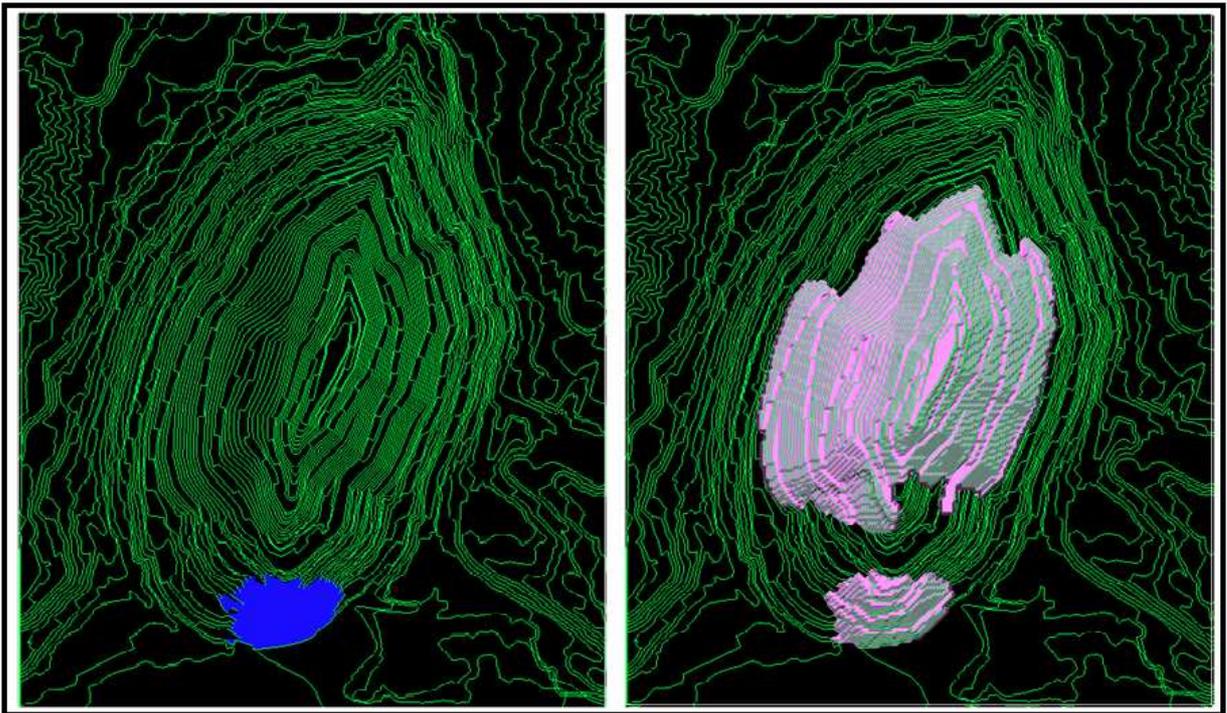
**Gráfico 9: Estéril por banco fase 47B**

La fase 47 B se encuentra formada por treinta y dos bancos. Respecto al mineral, aparece en el banco 61, en el tercio más profundo de bancos, siendo 27 [Mt]. La ley de cobre promedio del mineral que cae bajo la clasificación de sulfuros, es de 1.1% de cobre.

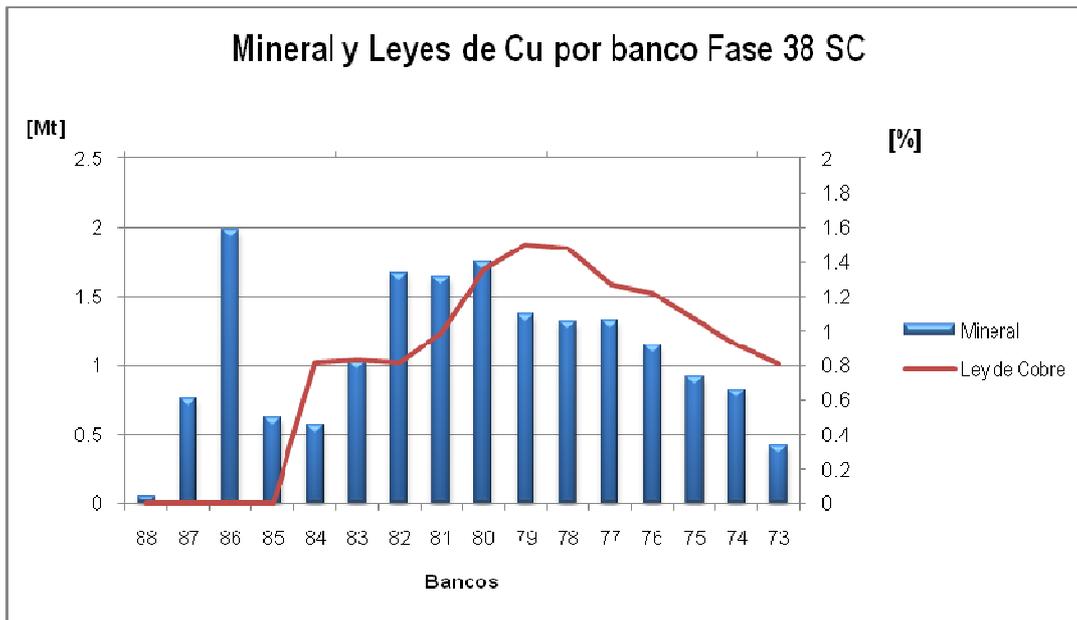
Por otro lado, el estéril aparece desde los bancos más superficiales, hasta casi el fondo de la fase. Disminuyendo en los bancos más profundos, donde comienza a aparecer el mineral. El total de estéril presente en la fase es de 107.5 [Mt].

La fase 47B se encuentra ubicada en el lado oeste del gráfico, lugar donde se encuentra la "Falla Oeste". Dicha falla explica la mineralización de ésta fase, ya que todo el material que se encuentra sobre ella, corresponde a estéril, y el material que se encuentra bajo ella, corresponde a mineral con excelentes leyes de cobre.

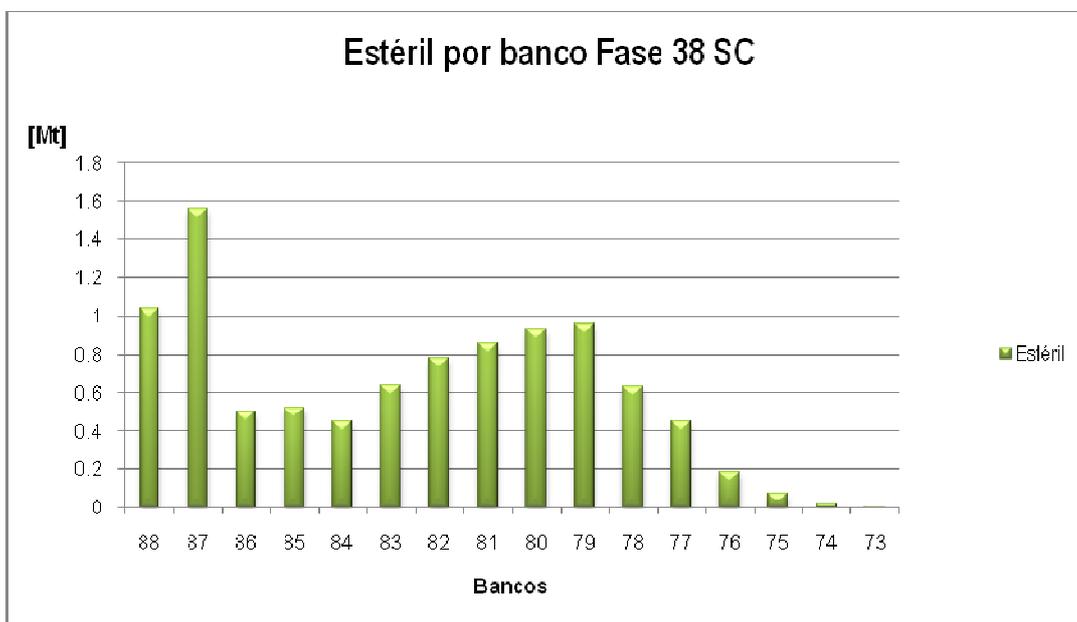
#### 6. Fase 38 SC



**Figura 13: Fase 38SC. Izquierda: sólido en MineSight. Derecha: Pit en Whittle**



**Gráfico 10: Mineral y leyes de cobre por banco fase 38 SC**



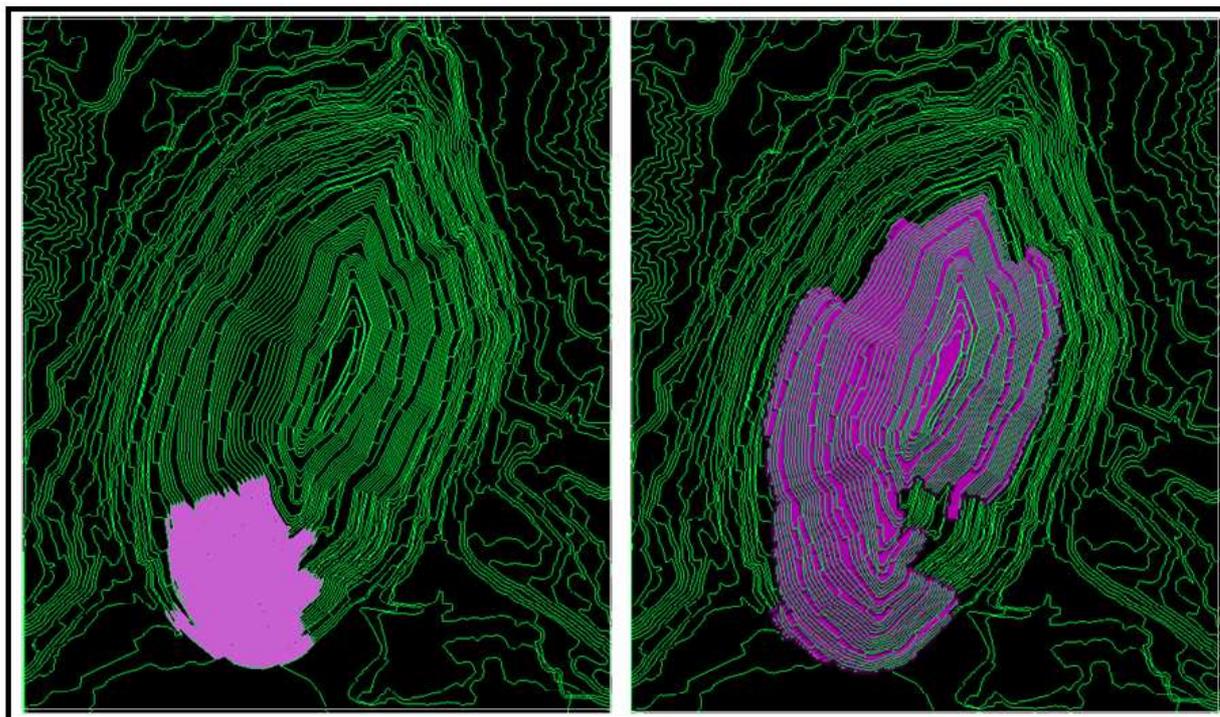
**Gráfico 11: Estéril por banco fase 38 SC**

La fase 38 SD se encuentra ubicada en el sector sur del rajo de Mina Chuquicamata. Está formada por dieciséis bancos. Posee 9.6 [Mt] de estéril y 17.4 [Mt] de mineral. En los bancos más superficiales presenta una gran cantidad de mineral con ley de cobre 0% al evaluarlo bajo la clasificación de sulfuros, es decir, es mineral que corresponde a SBL y OBL (sulfuros y óxidos de baja ley).

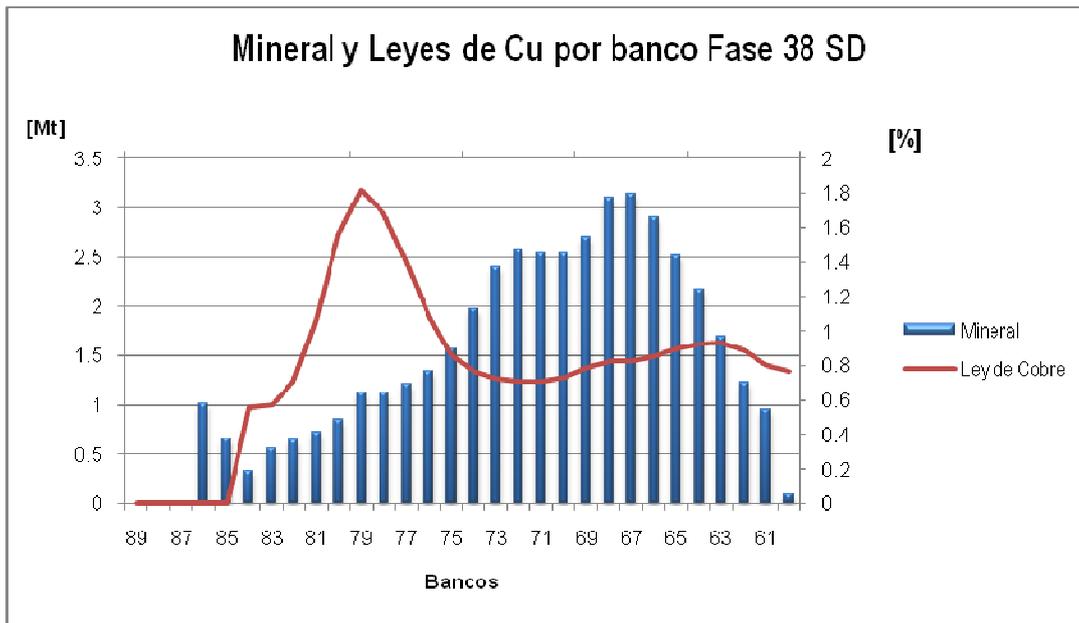
La cantidad de mineral por banco, se encuentra estrechamente relacionada con la cantidad de estéril presente en el mismo. Es decir, si aumenta el mineral de un banco a otro, también lo hace el estéril. Mostrando en los gráficos una distribución similar por bancos.

Respecto a las leyes, la ley media de la fase es de 0.8% de cobre. Presentando las mayores leyes en los bancos inferiores, alcanzando leyes de hasta 1.5% de cobre.

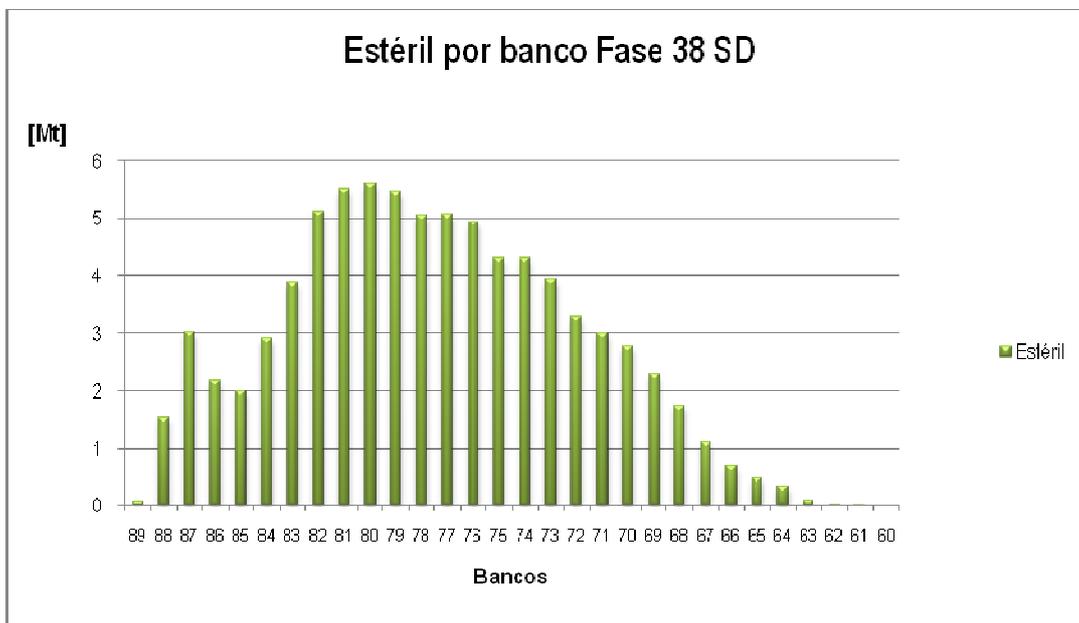
#### 7. Fase 38 SD



**Figura 14: Fase 38 SD. Izquierda: sólido en MineSight. Derecha: Pit en Whittle**



**Gráfico 12: Mineral y leyes de cobre por banco fase 38 SD**



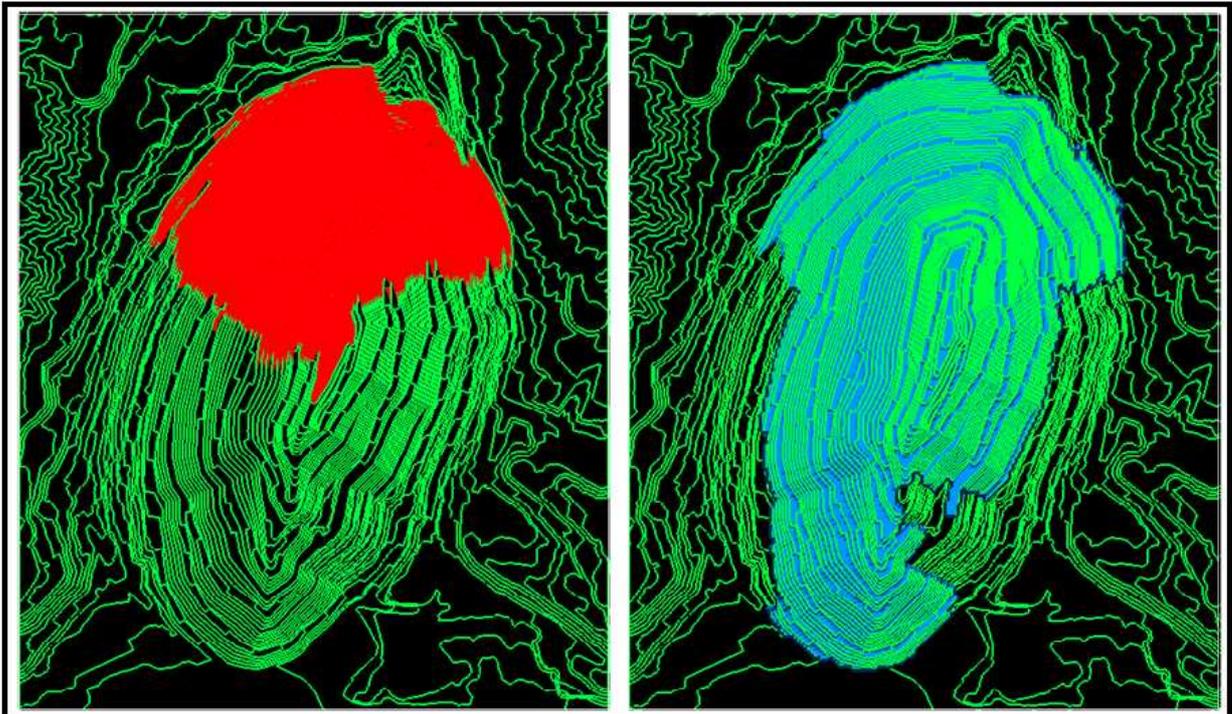
**Gráfico 13: Estéril por banco fase 38 SD**

La fase 38 SD corresponde a la expansión de la fase 38 SC, por lo tanto se ubica en el mismo sitio que la fase 38 SC. Está formada por treinta bancos.

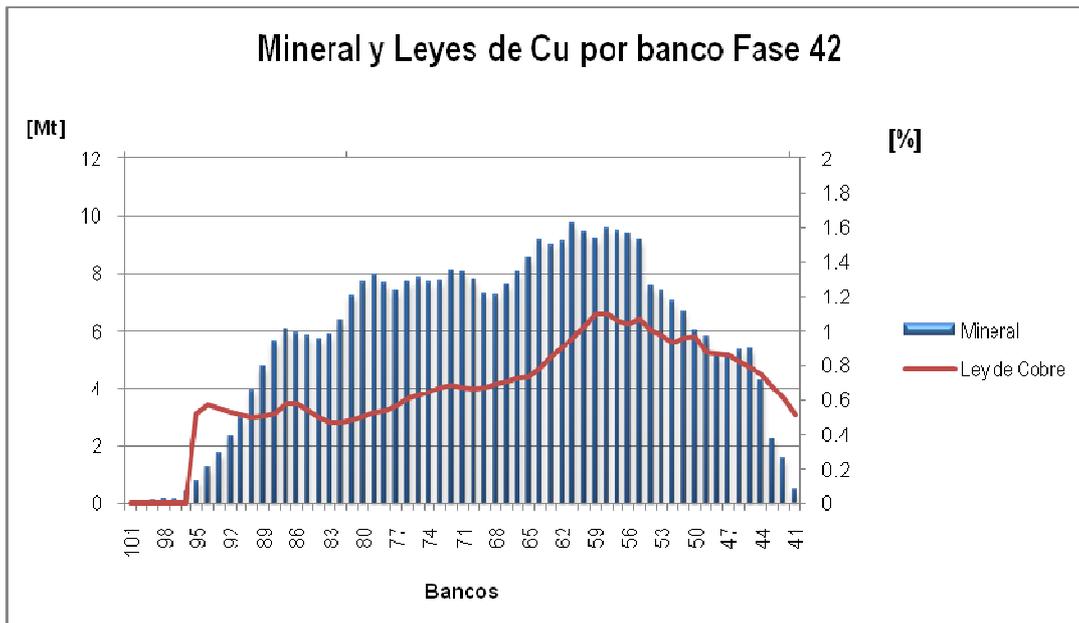
Presenta el doble de estéril que de mineral, 80.6 [Mt] de estéril y 43.7 [Mt] de mineral. El estéril se encuentra concentrado en su mayoría en los bancos iniciales e intermedios, desapareciendo en el banco más profundo.

Respecto al mineral, los cinco primeros bancos no poseen mineral clasificado bajo la categoría de sulfuros. A partir del sexto banco aparece mineral posible de enviar a la planta concentradora y aumenta progresivamente con la profundidad de los bancos, para comenzar a disminuir a partir del último cuartil de bancos. La ley de media del mineral clasificado como sulfuros es de 0.8% de cobre, con un máximo de 1.8% de cobre en el banco 79.

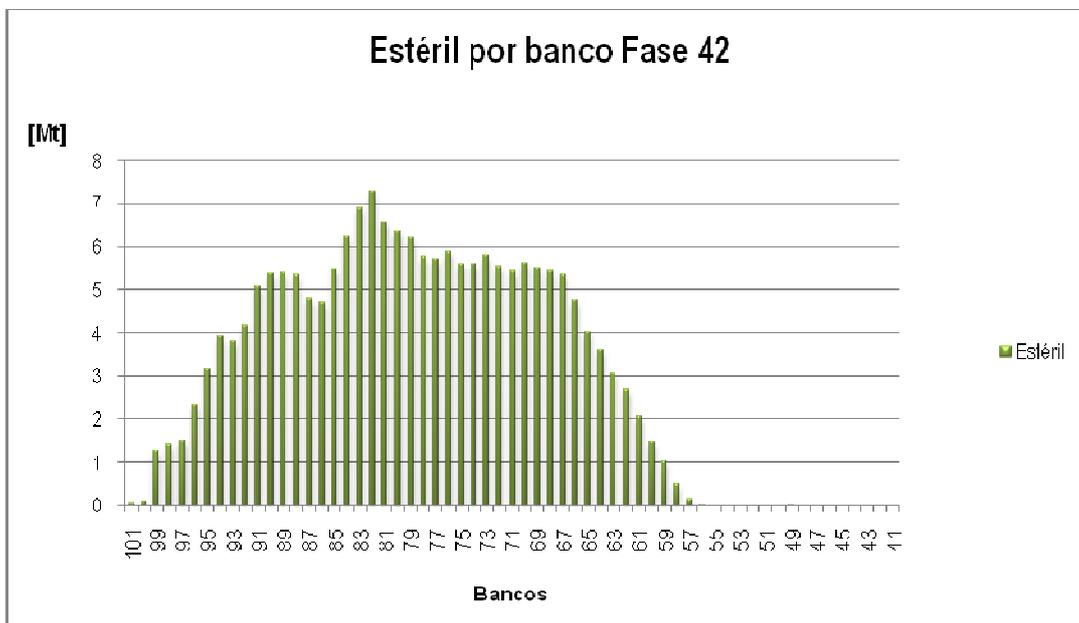
#### 8. Fase 42



**Figura 15: Fase 42. Izquierda: sólido en MineSight. Derecha: Pit en Whittle**



**Gráfico 14: Mineral y leyes de cobre por banco fase 42**

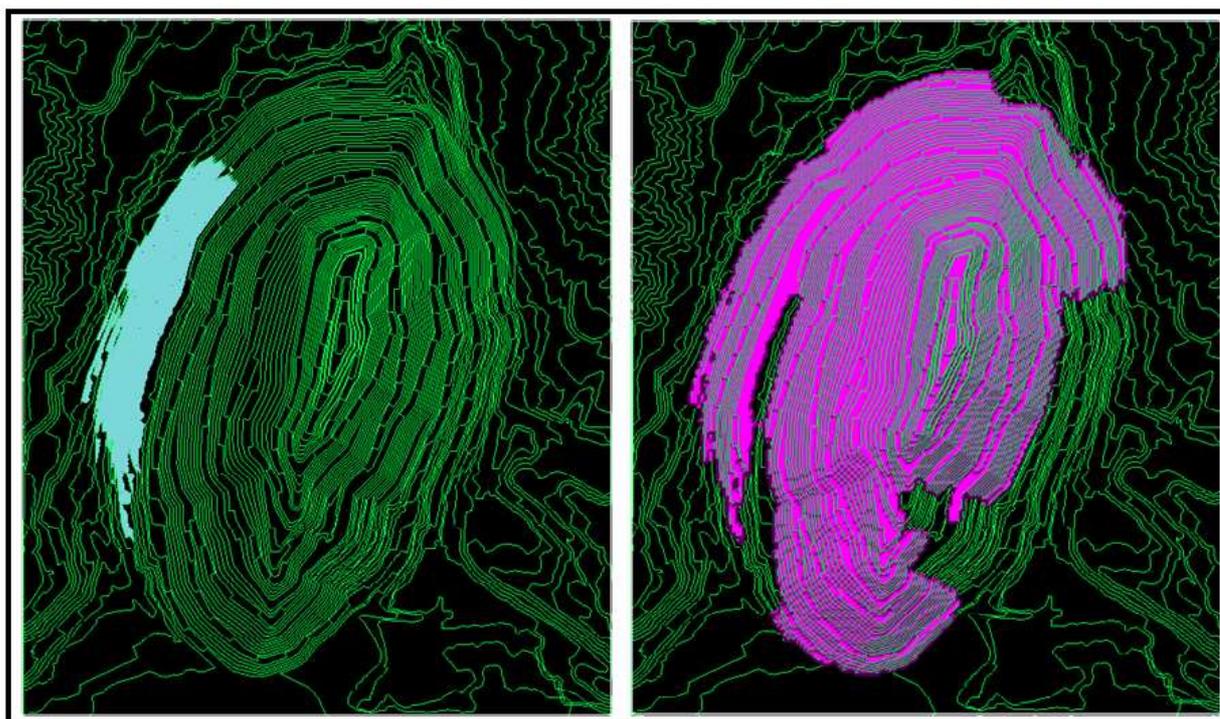


**Gráfico 15: Estéril por banco fase 42**

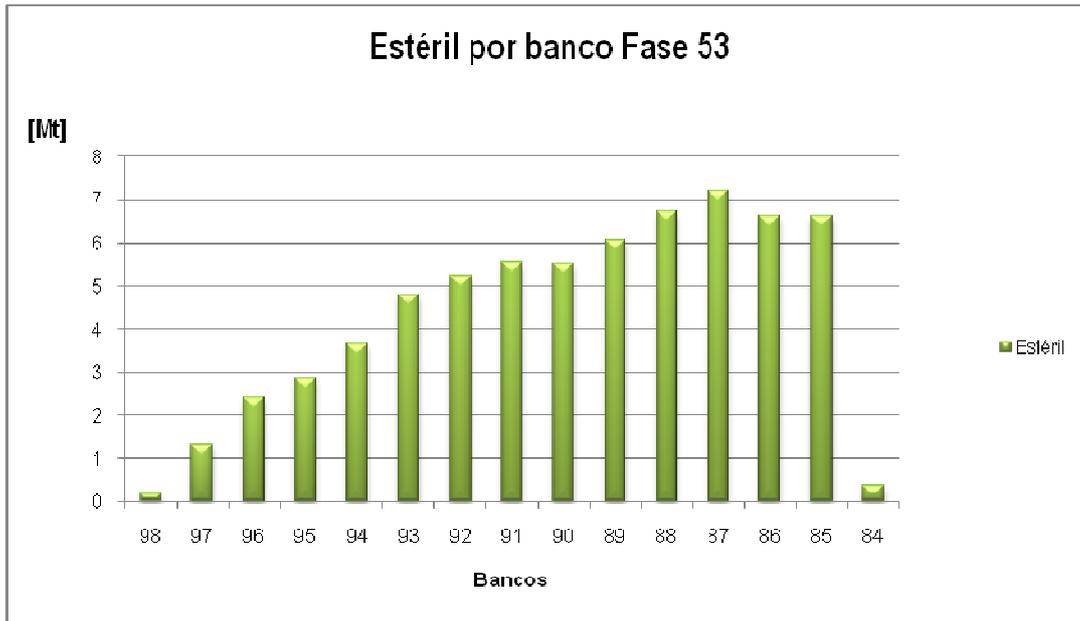
La fase 42 se encuentra ubicada en el sector norte del rajo de Mina Chuquicamata, está constituida por sesenta y un bancos, es una de las fases más grandes de la mina. Está formada por 355.6 [Mt] de mineral y 188.2 [Mt] de estéril, que en su mayoría se concentra en los primeros treinta y dos bancos,

Respecto al mineral, en los primeros seis bancos, no existe mineral catalogado como sulfuros, los treinta y un bancos siguientes presentan mineral del tipo sulfuro con una ley media de 0.6% de cobre, a continuación vienen veinte bancos con ley media 0.9% de cobre y los bancos siguientes presentan una ley media de 0.6% nuevamente. La ley promedio de la fase completa es 0.65% de cobre.

#### 9. Fase 53



**Figura 16: Fase 53. Izquierda: sólido en MineSight. Derecha: Pit en Whittle**



**Gráfico 16: Estéril por banco fase 53**

La fase 53 corresponde a una descarga, cuya función es disminuir la tensión de la pared del rajo a fin de evitar desprendimientos y disminuir las inestabilidades en el cerro. Por lo tanto solo posee estéril, no es una fase que tenga como función aportar con mineral a la producción.

10. Fase 49

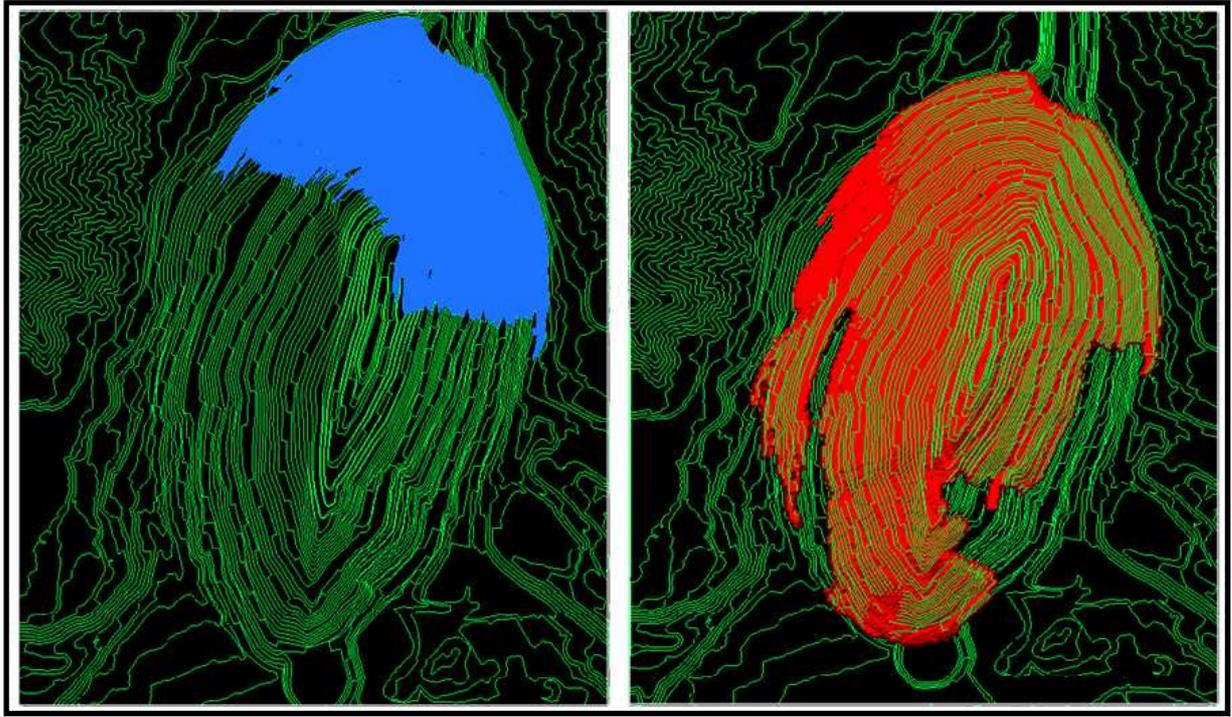


Figura 17: Fase 49. Izquierda: sólido en MineSight. Derecha: Pit en Whittle

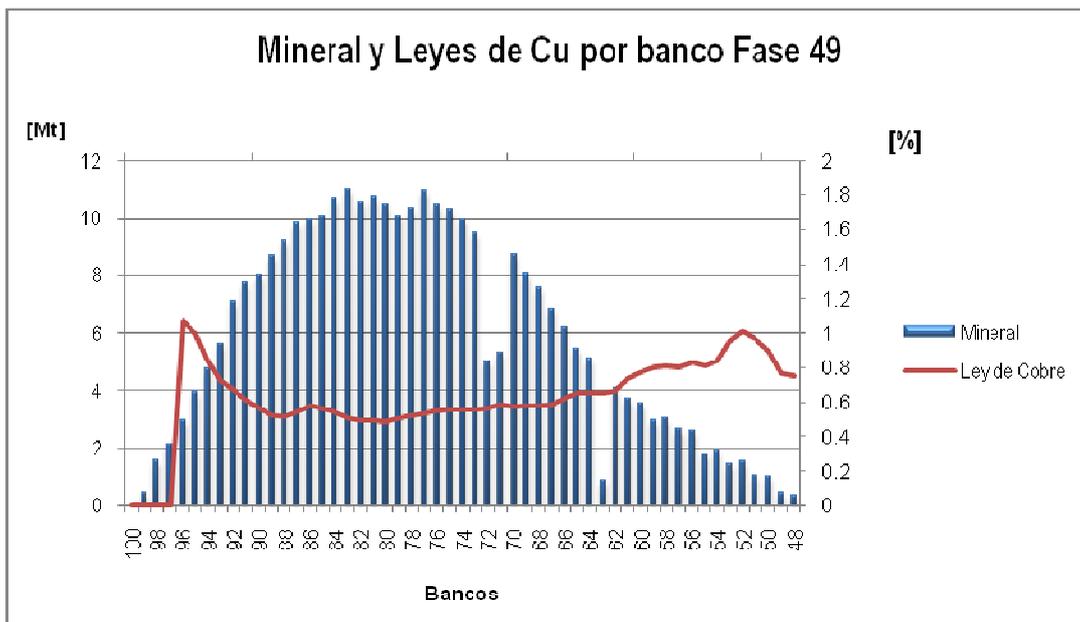
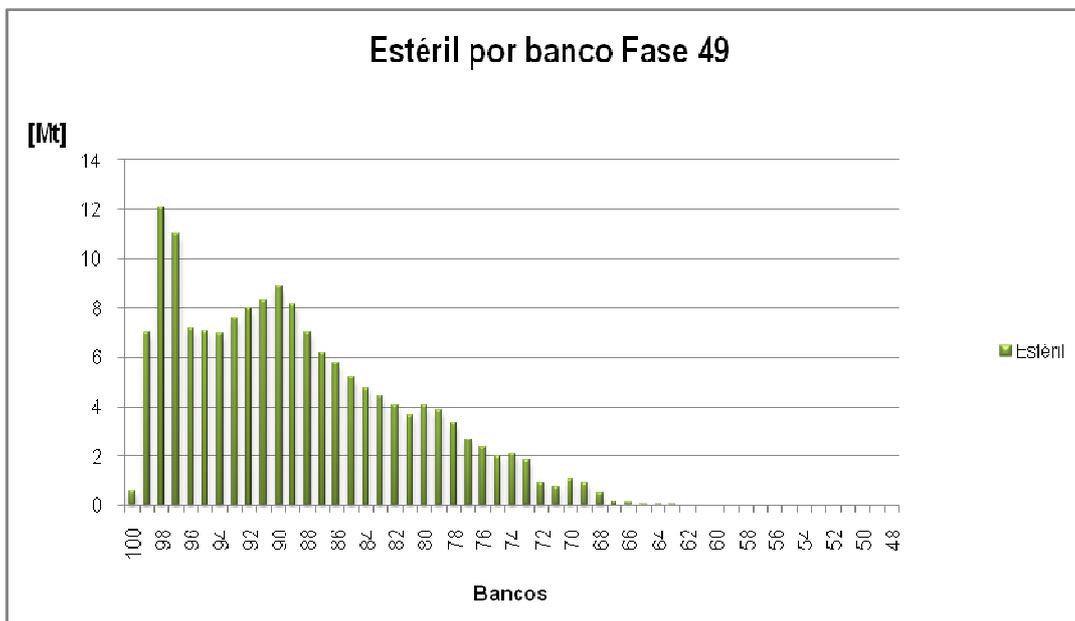


Gráfico 17: Mineral y leyes de cobre por banco fase 49



**Gráfico 18: Estéril por banco fase 49**

La fase 49 corresponde a la expansión de la fase 42, por lo tanto se ubica tras ella en el sector norte del rajo de Mina Chuquicamata.

Está formada por setenta y cuatro bancos entre los cuales se encuentran 308.6 [Mt] de mineral y 161 [Mt] de estéril. El estéril se concentra en los bancos superficiales y disminuye a medida que aumenta la profundidad.

Respecto al mineral, hasta el cuarto banco no existe mineral catalogado como sulfuros, a partir del quinto banco comienza a aparecer mineral aumentando progresivamente hasta la mitad de los bancos y de ahí en adelante comienza a disminuir, la ley media de la fase es de 0.6% de cobre, con un máximo de 1.1% de cobre.

11. Fase 50

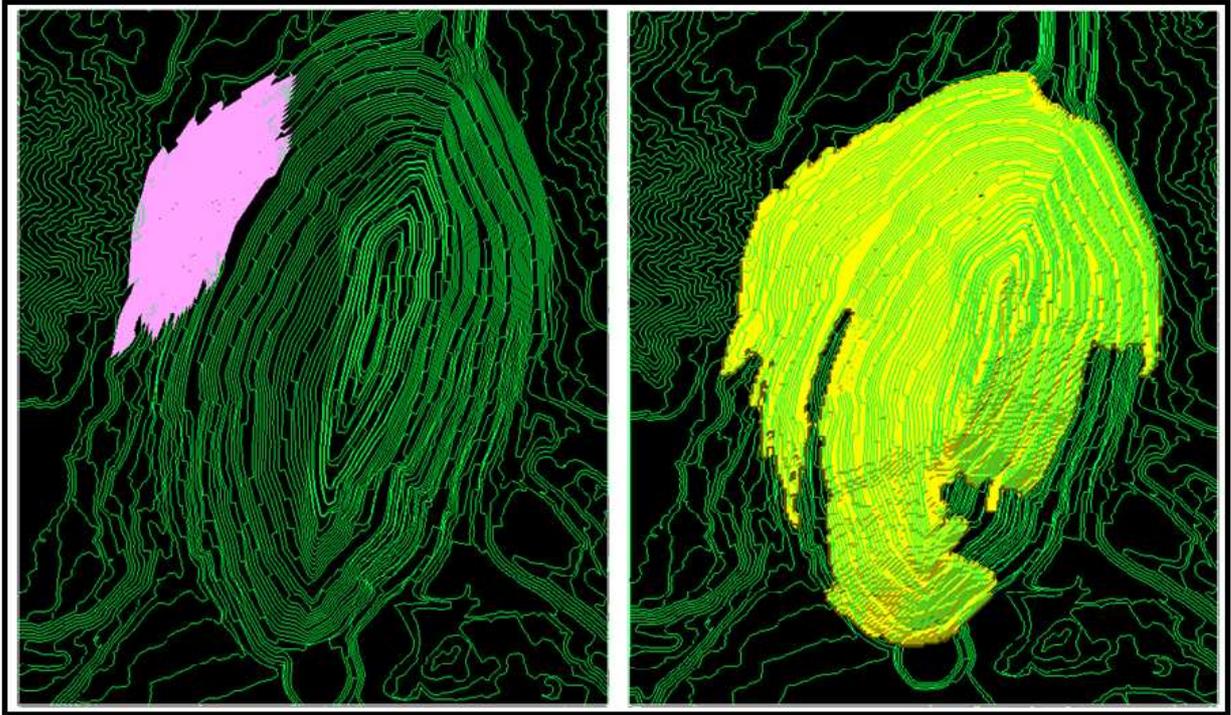


Figura 18: Fase 50. Izquierda: sólido en MineSight. Derecha: Pit en Whittle

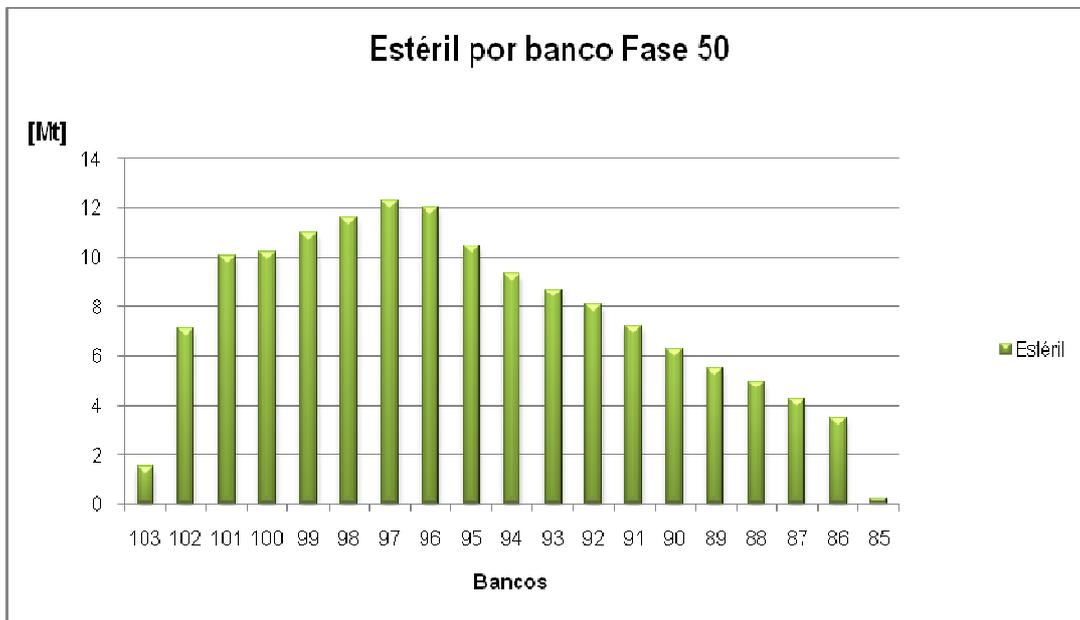


Gráfico 19: Estéril por banco fase 50

La fase 50 corresponde a fase de descarga, por la tanto solo posee estéril.

### 3.5.2. Cubicaciones

La siguiente tabla presenta el resumen de las cubicaciones por fases realizado en Whittle y en MineSight.

Fases		Mineral Total [kt]		Esteril [kt]		Movimiento Mina [kt]	
		MineSight	Whittle	MineSight	Whittle	MineSight	Whittle
1	Fase 39	13,141	12,551	0	0	13,141	12,551
2	Fase 40	115,662	106,917	3,047	5,983	118,709	112,900
3	Fase 47 A	56,572	53,973	84,969	79,999	141,541	133,972
4	Fase 41	155,229	137,604	61,696	76,373	216,925	213,977
5	Fase 47 B	30,870	27,315	134,970	131,425	165,840	158,740
6	Fase 38 SC	20,500	17,406	8,140	9,593	28,640	27,000
7	Fase 38 SD	45,013	43,702	85,517	80,572	130,530	124,274
8	Fase 42	367,927	355,558	200,550	188,218	568,477	543,776
9	Fase 53	0	0	68,765	65,047	68,765	65,047
10	Fase 49	359,354	308,581	109,930	160,599	469,284	469,179
11	Fase 50	0	0	152,925	144,417	152,925	144,417

**Tabla 6: Cubicaciones de las fases en MineSight y Whittle**

## **CAPITULO 4: Planificación periodo 2004-2009**

Al momento de definir los escenarios bajo los cuales se desarrollaran los planes. Surge la pregunta de cómo hubiese sido el plan si el precio del cobre en el tiempo hubiese sido un parámetro conocido. Una forma de dar respuesta a esto, es realizar un back análisis planificando durante un periodo de tiempo donde se conozcan los precios del cobre.

A partir de lo anterior, se selecciona el mayor periodo de tiempo desde el cual se tienen registros en CODELCO Norte acerca de la planificación de Mina Chuquicamata. Que resulta ser el año 2004. Por lo tanto, el periodo de tiempo para el cual se confeccionará planes será el comprendido desde el año 2004 hasta el 2009.

Luego de determinar el escenario de planificación, es necesario definir el criterio a utilizar para realizar el plan. Primero que todo, a modo de establecer un parámetro de comparación es necesario confeccionar un plan base que se ajuste al realizado por Planificación largo plazo de Mina Chuquicamata en el año 2004.

Luego de tener el plan base, se consideran dos criterios de planificación diferentes. Uno que extrae el mineral con mejores leyes durante los periodos donde el precio del cobre es mayor. Y el otro que guarda relación con postergar desarrollos, no afectando el mineral requerido por la planta concentradora.

### **4.1. Parámetros de Entrada**

#### **4.1.1 Procesos**

El mineral extraído de la mina, puede ser tratado de diferentes formas dependiendo del tipo de roca y la ley que tenga. Para cada bloque de mineral solo se define un proceso en una planta de tratamiento.

- |                         |   |  |
|-------------------------|---|--|
| 1) Planta de SBL        | : | sulfuros con ley entre 0.2 y 0.4 % de Cu |
| 2) Planta de OBL        | : | óxidos con ley superior a 0.2% de Cu     |
| 3) Planta Concentradora | : | sulfuros con leyes sobre 0.4% de Cu      |

#### 4.1.2. Costos

Los costos utilizados se dividen en tres grandes grupos:

- Costo Mina
- Costo de Procesos
- Costo de Venta.

El costo mina es diferente para el caso de lastre y de mineral, pero por consideraciones de Whittle, es necesario calcular un solo costo mina ponderando el de lastre y el de mineral.

El costo de proceso se encuentra dividido en dos asociados cada uno a procesos diferentes. Uno, es el costo asociado al mineral que es tratado en la planta concentradora. Y el otro, es el costo asociado a los procesos de tratamiento del mineral catalogado como OBL y SBL, que aunque se tratan de forma diferente, tienen el mismo costo de proceso.

<b>Costo Mina</b>		US\$/t	0.68
<b>Costo Proceso</b>			
	Planta de OBL y SBL	US\$/t	0.33
	Planta Concentradora	US\$/t	3.35
<b>Costo Venta</b>	Cu	US\$/lb	0.28
	Mo	US\$/kg	0.50

**Tabla 7: Costos Mina, Proceso y Venta**

#### 4.1.3. Recuperaciones Metalúrgicas

Las recuperaciones metalúrgicas del mineral tratado en planta varían según el periodo de tiempo que se esté considerando. A continuación se presentan las recuperaciones utilizadas.

<b>Año</b>	<b>Cu [%]</b>	<b>Mo [%]</b>
<b>2004</b>	74.52	59.94
<b>2005</b>	79.91	55.71
<b>2006</b>	73.71	55.41
<b>2007</b>	72.54	53.16
<b>2008</b>	72.81	53.94
<b>2009</b>	74.70	56.28

**Tabla 8: Recuperaciones Metalúrgicas por año**

#### 4.1.4. Precio y Tasa de descuento

Para realizar los planes, se confeccionará uno utilizando los precios considerados en las Orientaciones Comerciales 2004 de CODELCO. Y los otros dos, se confeccionarán utilizando los precios reales entre el periodo 2004-2009. A continuación, se muestra el detalle de los precios utilizados por periodo.

Año	OCC 2004 [cUS\$/lb]	Reales [cUS\$/lb]
2004	72	130.22
2005	76.5	167.08
2006		305.29
2007		323.25
2008		315.32
2009		234.22

*Tabla 9: Precio del cobre, reales y dados por las Orientaciones Comerciales 2004*

De acuerdo a lo establecido en las Orientaciones Comerciales 2004 de CODELCO, el precio del molibdeno es de 6.6 [US\$/kg] constante durante todo el periodo de evaluación. Y la tasa de descuento a utilizar es del 8 %.

## 4.2. Restricciones

### 4.2.1. Planta Concentradora

Una de las restricciones del plan es cumplir con el mineral requerido de Chuquicamata para llenar la planta concentradora. Durante los primeros años, el periodo de tiempo comprendido por los años 2004 al 2006, la planta copa su capacidad solo con mineral proveniente de mina Chuquicamata.

A partir del año 2007 en adelante comienza a aportar Mina Radomiro Tomic con una cantidad de mineral variable, la necesaria para cumplir con la capacidad de la planta concentradora. Pero con un máximo de 60 ktpd, que es aporte máximo determinado que puede

realizar RT a la planta concentradora de Chuquicamata. El aporte de Radomiro Tomic corresponde a 20 ktpd durante los años 2007 y 2008; para luego aumentar a 40 ktpd el año 2009.

Año	ktpd
2004	182
2005	182
2006	182
2007	162
2008	162
2009	142

**Tabla 10: Mineral requerido, por año, por la planta concentradora**

#### **4.2.2. Límites máximos de extracción por periodo para cada fase**

Para el caso de Mina Chuquicamata, Planificación utiliza un concepto que define los límites de extracción de material de cada fase. Dicho concepto es lo que se define como “*productividad de una fase*”.

Productividad de una fase es, la cantidad de material que puede ser extraída de ella durante un periodo de tiempo definido, en este caso un año. Y se encuentra determinada por factores dados por el rendimiento de los equipos que en ella trabajen y las dimensiones de la fase.

Con fines prácticos y por no presentar una importancia significativa en el estudio a realizar, se decidió simplificar el concepto y llevarlo a un número diferente por periodo para cada fase. Este número es determinado a partir del plan de largo plazo de CODELCO Norte del año 2004. La forma de calcularlo fue: determinar el movimiento total de materiales por fase en cada periodo. Y establecer el límite máximo de extracción por fase, a partir de dicho valor aumentado en un 10%.

A continuación, la tabla presenta los límites máximos, en kilo toneladas, de extracción por periodo para cada fase, determinados a partir del plan de largo plazo de CODELCO Norte del año 2004 para Mina Chuquicamata.

<b>Movimiento Mina</b>	<b>2004</b>	<b>2005</b>	<b>2006</b>	<b>2007</b>	<b>2008</b>	<b>2009</b>
<b>1 Fase 39</b>	14,004	0	0	0	0	0
<b>2 Fase 40</b>	74,270	31,176	21,339	0	0	0
<b>3 Fase 47 A</b>	70,676	48,580	17,839	14,223	0	0
<b>4 Fase 41</b>	43,923	43,790	43,802	43,006	48,942	14,854
<b>5 Fase 47 B</b>	15,521	35,838	21,105	35,838	43,524	29,148
<b>6 Fase 38 SC</b>	13,576	17,919	4,058	0	0	0
<b>7 Fase 38 SD</b>	0	7,964	31,856	31,856	19,965	31,856
<b>8 Fase 42</b>	0	36,547	75,658	96,364	77,864	86,011
<b>9 Fase 53</b>	0	0	5,177	5,973	9,344	17,322

*Tabla 11: Movimiento anual Mina por fase*

### **4.3. Determinación de los planes a desarrollar**

Como la idea, es realizar planes utilizando criterios diferentes, que sean comparables a lo planificado por CODELCO Norte el año 2004. Es necesario, primero que todo, realizar un plan que se ajuste en todo lo posible al plan de CODELCO Norte. Para poder así, tener la misma base al momento de compararlo con los demás planes.

Por otro lado, al momento de seleccionar el criterio a seguir teniendo como escenario una curva de precios del cobre conocida (precios reales). Resulta interesante plantearse dos situaciones que circulan en el colectivo de la planificación.

Uno es extraer el mineral con mejores leyes durante los periodos donde el precio del cobre es mayor, dejando las peores leyes para los periodos en que el precio disminuye. Un segundo criterio, es postergar desarrollos; mover la menor cantidad posible de estéril, lo justo y necesario para asegurar el mineral requerido por la planta concentradora.

Por lo tanto, en conclusión, se realizarán tres planes diferentes que se detallan a continuación.

#### **4.3.1. Plan Base:**

Plan en base a los precios establecidos en las Orientaciones Comerciales 2004 de CODELCO Norte. Ajustado al plan que se realizó el año 2004 para el largo plazo; siguiendo las fases y el secuenciamiento correspondiente. Y copando la capacidad de la planta concentradora de acuerdo a lo requerido por cada periodo.

#### **4.3.2. Plan buscando las mejores leyes**

Plan en base a precios reales. Utilizando el criterio de extraer las mejores leyes de cobre durante los periodos donde el precio del cobre fue mayor. Y teniendo como restricciones: cumplir con la capacidad máxima de la planta concentradora y no superar el límite máximo de productividad por fases.

#### **4.3.3. Plan disminuyendo desarrollos**

Plan en base a precios reales. Utilizando el criterio de disminuir desarrollos, desarrollando lo mínimo necesario para alcanzar a cumplir con el mineral requerido por la planta concentradora durante todos los periodos; es decir, postergar los desarrollos hasta donde el plan lo permita. Además de cumplir con las restricciones dadas por los límites máximos de productividad permitidos para cada fase.

### **4.4. Metodología**

Tomar las reservas de Mina Chuquicamata a diciembre de 2003 y realizar los tres planes diferentes que se describen en el punto anterior.

Los parámetros de entrada utilizados en la confección de los planes: costos mina, procesos y venta (cobre y molibdeno); recuperaciones metalúrgicas de cobre y molibdeno, tasa de descuento, límites de producción mina y planta concentradora; son los mismos para los tres planes. El único parámetro que varía entre un plan y otro, es el precio del cobre. Dichos

parámetros, se detallaron con anterioridad y corresponden a los datos en el Plan de Negocios y Desarrollo 2004, para Mina Chuquicamata

Luego de confeccionar los tres planes diferentes, deben compararse los criterios de planificación utilizados. Comparando el VAN obtenido de cada uno para el periodo comprendido entre los años 2004 al 2009. Y a partir de esta comparación establecer cuál es el mejor criterio, considerando el VAN como parámetro de comparación.

A continuación se detalla el procedimiento que es necesario realizar para llevar a cabo un plan. Para lo cual se utiliza Whittle y Excel.

1. Crear un nuevo nodo "new operational scenario" en Whittle, para los pit anidados generados en el procedimiento anterior.
2. Introducir los parámetros de entrada por periodo tales como: costos mina, procesos y venta (cobre y molibdeno); recuperaciones metalúrgicas de cobre y molibdeno, tasa de descuento, límites de producción mina y planta concentradora; y precio del cobre y molibdeno.
3. Con el detalle del plan de largo plazo de CODELCO Norte para Mina Chuquicamata del año 2004, determinar cuál es el número de bancos movidos por año para cada fase.
4. Utilizando el método Millawa Balanced de Whittle y definiendo el máximo número de bancos a mover en cada fase para cada periodo, obtener el plan. El algoritmo utilizado por Millawa Balanced, maximiza el valor neto de cada planificación posible, manteniendo el equilibrio entre las capacidades de las unidades productivas mina planta, entregando como solución aquella con el mayor valor presente
5. Exportar desde el Whittle el detalle del plan, donde aparezca el movimiento por banco y fase de: lastre, mineral a cada proceso, leyes de cobre y molibdeno para cada periodo.
6. Con la información correspondiente al movimiento planificado para el largo plazo del año 2004, determinar los movimientos mínimos y máximos permitidos por banco para cada fase y periodo (productividades por fase). Estos límites, se establecen dando un rango de + 10% del movimiento de material total establecido para cada fase en el plan de largo plazo 2004 de CODELCO Norte.
7. Con el plan obtenido de Whittle, y el detalle de las productividades permitidas para cada fase por periodo, mediante macros en Excel, ajustar el plan de Whittle, a modo de cumplir con las productividades definidas por CODELCO Norte para Mina Chuquicamata.

Lo anterior, explica como realizar el primer plan. Para desarrollar el resto de los planes, debe repetirse el procedimiento variando solo el vector de precios del cobre.

## 4.5. Planes

A continuación, se presentan para los tres planes, un gráfico y una tabla que detallan los planes.

El gráfico de barras muestra el acumulado de: los movimientos de mineral a planta concentradora proveniente de Mina Chuquicamata y de Mina Radomiro Tomic, mineral a planta de tratamiento de SBL y OBL, estéril. Además, se muestran también la curva de ley de cobre del mineral a concentradora y la de los precios del cobre, reales y en base a las Orientaciones Comerciales 2004 de CODELCO Norte.

La tabla, detalla por plan: los movimientos de mineral a los distintos procesos, sus leyes de cobre y molibdeno, el movimiento de estéril, el movimiento total y la razón lastre mineral por cada periodo.

### 4.5.1. Plan Base

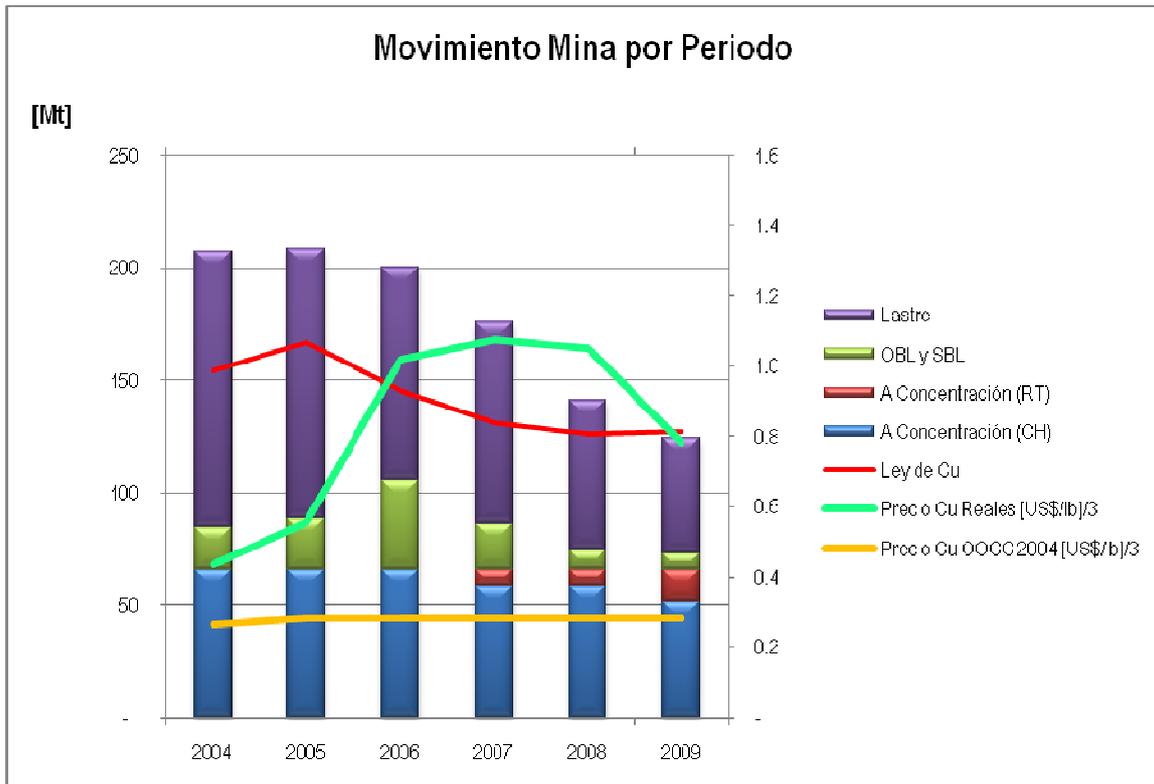
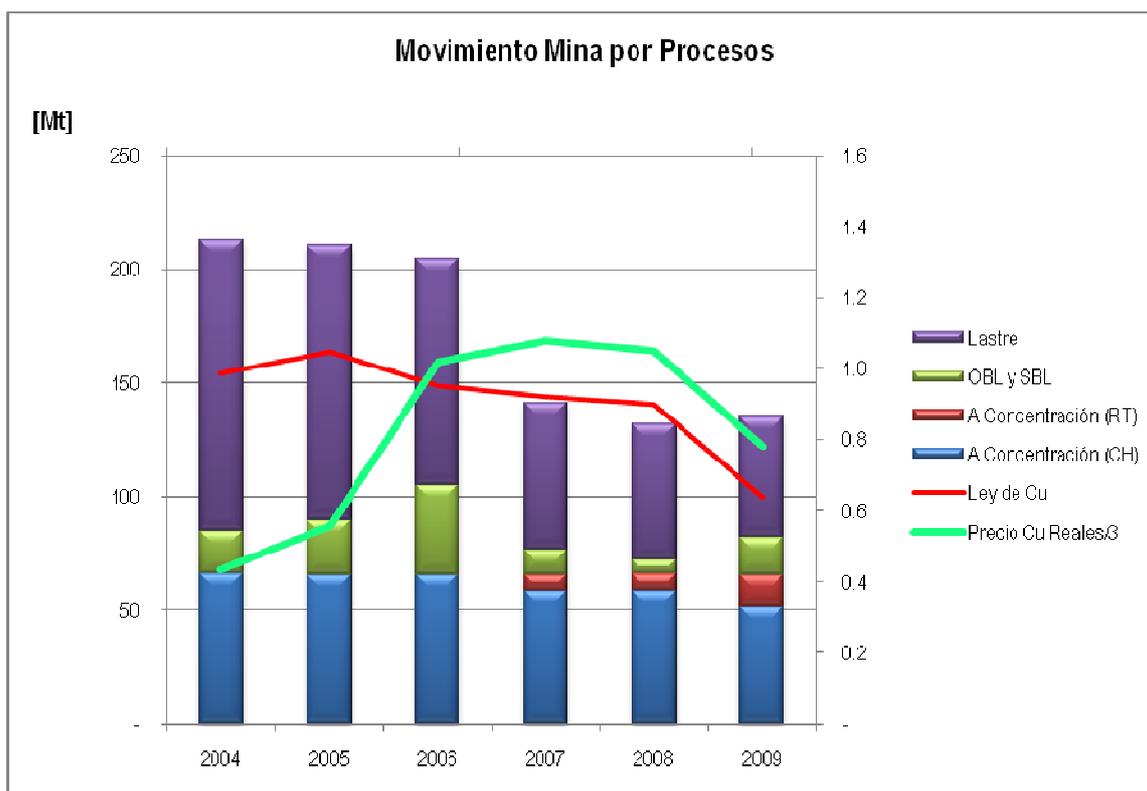


Gráfico 20: Movimiento anual mina por materiales. Ley de cobre a concentradora y precio del cobre

PERIODO	SULFURO A CONCENTRACION							MINERAL A PLANTA SBL		LASTRE	TOTAL		L/M
	DE MINA			DE STOCK DE RT		TOTAL		OBL y SBL DE MINA			Kts	ktsd	
	kts	%CuT	%Mo	kts	%CuT	kts	kts/d	kts	%CuT				
2004	66,066	0.99	0.06	0	0.6	66,066	182	18,470	0.33	122,638	207,174	571	1.45
2005	65,884	1.07	0.06	0	0.6	65,884	182	22,701	0.33	119,858	208,443	576	1.35
2006	65,884	0.93	0.05	0	0.6	65,884	182	39,715	0.33	94,751	200,350	553	0.90
2007	58,644	0.84	0.03	7,240	0.6	65,884	182	20,277	0.33	89,700	168,622	466	1.14
2008	58,806	0.81	0.03	7,260	0.6	66,066	182	8,357	0.33	66,617	133,781	369	0.99
2009	51,404	0.81	0.04	14,480	0.6	65,884	182	7,284	0.33	51,260	109,948	304	0.87

**Tabla 12: Detalle del movimiento mina por periodo**

#### 4.5.2. Plan buscando las mejores leyes.

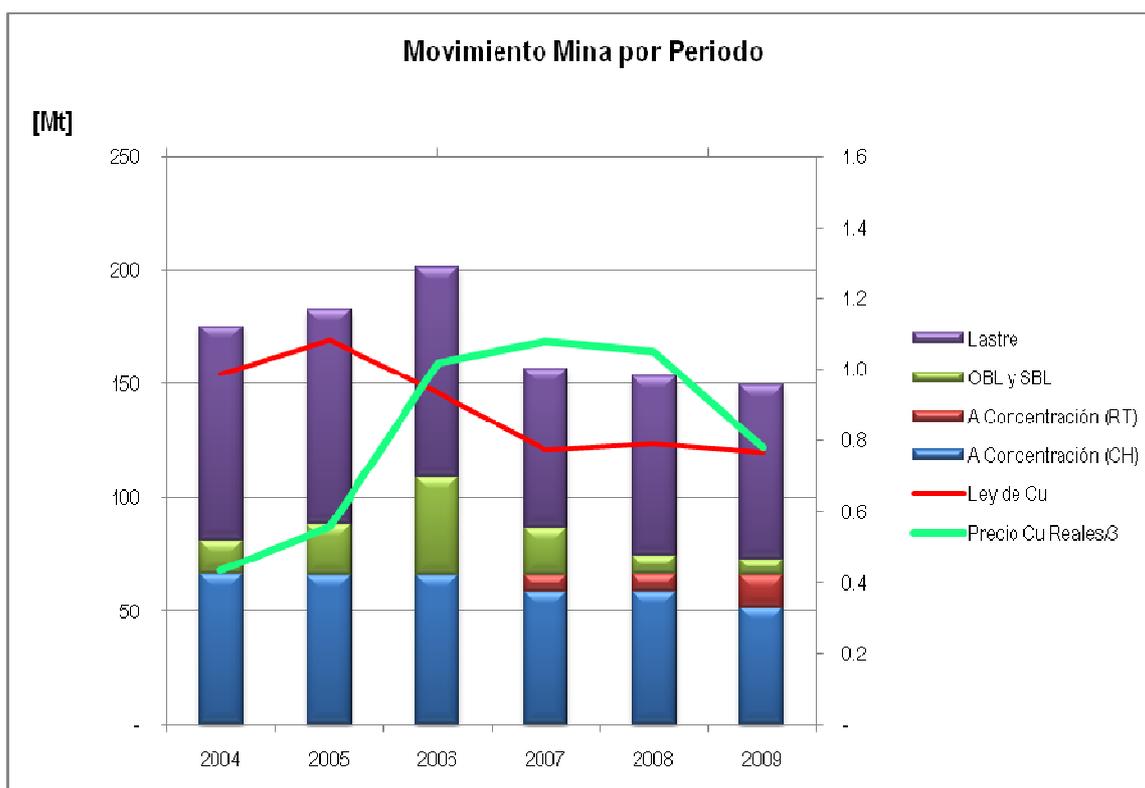


**Gráfico 21: anual mina por materiales. Ley de cobre a concentradora y precio del cobre**

PERIODO	SULFURO A CONCENTRACION							MINERAL A PLANTA SBL		LASTRE	TOTAL		L/M
	DE MINA			DE STOCK DE RT		TOTAL		OBL y SBL DE MINA			Kts	ktsd	
	kts	%CuT	%Mo	kts	%CuT	kts	kts/d	kts	%CuT				
2004	66,066	0.99	0.06	0	0.6	66,066	182	15,171	0.33	94,073	175,310	483	1.16
2005	65,884	1.08	0.06	0	0.6	65,884	182	22,510	0.33	94,641	183,035	506	1.07
2006	65,884	0.94	0.05	0	0.6	65,884	182	43,032	0.33	92,188	201,105	556	0.85
2007	58,644	0.78	0.02	7,240	0.6	65,884	182	20,749	0.33	70,114	149,507	413	0.88
2008	58,806	0.79	0.02	7,260	0.6	66,066	182	8,383	0.33	79,018	146,207	403	1.18
2009	51,404	0.77	0.03	14,480	0.6	65,884	182	6,905	0.33	76,819	135,127	373	1.32

**Tabla 13: Detalle del movimiento mina por periodo**

**4.5.3. Plan postergando desarrollos.**



**Gráfico 22: anual mina por materiales. Ley de cobre a concentradora y precio del cobre**

PERIODO	SULFURO A CONCENTRACION							MINERAL A PLANTA SBL		LASTRE	TOTAL		L/M
	DE MINA			DE STOCK DE RT		TOTAL		OBL y SBL DE MINA			Kts	ktsd	
	kts	%CuT	%Mo	kts	%CuT	kts	kts/d	kts	%CuT	kts			
2004	66,066	0.99	0.06	0	0.6	66,066	182	15,171	0.33	94,073	175,310	483	1.16
2005	65,884	1.08	0.06	0	0.6	65,884	182	22,510	0.33	94,641	183,035	506	1.07
2006	65,884	0.94	0.05	0	0.6	65,884	182	43,032	0.33	92,188	201,105	556	0.85
2007	58,644	0.78	0.02	7,240	0.6	65,884	182	20,749	0.33	70,114	149,507	413	0.88
2008	58,806	0.79	0.02	7,260	0.6	66,066	182	8,383	0.33	79,018	146,207	403	1.18
2009	51,404	0.77	0.03	14,48	0.6	65,884	182	6,905	0.33	76,819	135,127	373	1.32

**Tabla 14: Detalle del movimiento mina por periodo**

## 4.6. Extracción por fases

### 4.6.1. Plan Base

La siguiente tabla muestra el movimiento mina por fases, de acuerdo al plan, para cada periodo en kilo toneladas.

Movimiento Mina	2004	2005	2006	2007	2008	2009
1 Fase 39	12,551	0	0	0	0	0
2 Fase 40	60,644	31,286	20,612	357	0	0
3 Fase 47 A	64,829	42,603	16,496	10,044	0	0
4 Fase 41	40,292	41,145	43,231	33,779	34,768	11,393
5 Fase 47 B	16,692	33,952	20,641	29,784	29,754	14,586
6 Fase 38 SC	12,165	14,834	0	0	0	0
7 Fase 38 SD	0	7,802	28,718	25,324	18,467	26,530
8 Fase 42	0	36,821	66,786	62,818	40,771	40,326
9 Fase 53	0	0	3,866	6,516	10,021	17,114

**Tabla 15: Movimiento anual Mina por fase**

A continuación, se presentan los porcentajes de aumento en la extracción por periodo para cada fase, con respecto a la extracción planificada por CODELCO Norte para Mina Chuquicamata en el plan de largo plazo del 2004. Cabe destacar que en ningún caso se supera el 10% señalado en las restricciones anteriormente.

Porcentaje de Variación		2004	2005	2006	2007	2008	2009
1	Fase 39						
2	Fase 40		1				
3	Fase 47 A						
4	Fase 41		3	8			
5	Fase 47 B	10	1	5			
6	Fase 38 SC						
7	Fase 38 SD		2				
8	Fase 42		10				
9	Fase 53					10	8

**Tabla 16: Porcentaje de aumento en la extracción anual por fases**

Es importante notar que, a pesar de tratarse del plan base que debe ajustarse en gran medida al plan de CODELCO Norte para Chuquicamata. Y que lo esperado sería que no existieran variaciones en cuanto al movimiento por fases entre un plan y otro. Es imposible cumplir con ello, ya que los software que se utilizaron en la confección de los planes son diferentes y por lo tanto se presentaban pequeñas variaciones en las cubicaciones de las fases entre los planes, lo que tiene como resultado finalmente las variaciones que muestra en la tabla.

#### **4.6.2. Plan buscando las mejores leyes.**

A continuación, la tabla presenta el movimiento mina por periodo para cada fase, de acuerdo a lo planificado en base al criterio de buscar las mejores leyes en los periodos de tiempo donde el precio del cobre fuera mayor.

Movimiento Mina		2004	2005	2006	2007	2008	2009
1	Fase 39	12,551	0	0	0	0	0
2	Fase 40	60,028	33,964	18,908	0	0	0
3	Fase 47 A	68,518	35,984	19,426	10,044	0	0
4	Fase 41	42,864	43,844	33,292	49,314	44,662	0
5	Fase 47 B	16,692	36,999	21,454	32,365	32,012	0
6	Fase 38 SC	12,165	14,834	0	0	0	0
7	Fase 38 SD	0	8,464	31,347	23,601	26,515	29,922
8	Fase 42	0	36,821	76,565	12,203	11,339	73,588
9	Fase 53	0	0	3,866	6,516	10,021	17,114

**Tabla 17: Movimiento anual Mina por fase**

En la tabla “porcentaje de variación” se muestra el aumento porcentual en movimiento mina del plan en comparación al plan de CODELCO Norte. Se observa que el movimiento aumenta considerablemente durante la primera mitad del periodo de planificación para las fases 41,47B, 38 SD y 42. Por otro lado, la fase 53, no se alteró con respecto al plan base, ya que corresponde a una descarga.

Porcentaje de Variación	2004	2005	2006	2007	2008	2009
1 Fase 39						
2 Fase 40		10				
3 Fase 47 A	6		10			
4 Fase 41	7	10		9		
5 Fase 47 B	10	10	9			
6 Fase 38 SC						
7 Fase 38 SD		10	8		10	3
8 Fase 42		10	10			
9 Fase 53					10	8

**Tabla 18: Porcentaje de aumento en la extracción anual por fases**

#### 4.6.3. Plan postergando desarrollos.

A continuación se muestra en la tabla “movimiento mina”, el movimiento total de material (mineral mas estéril) de Mina Chuquicamata para cada fase durante los seis años, de acuerdo al plan que posterga desarrollos.

Movimiento Mina	2004	2005	2006	2007	2008	2009
1 Fase 39	12,551	0	0	0	0	0
2 Fase 40	61,776	31,872	19,252	0	0	0
3 Fase 47 A	61,140	47,564	18,105	7,163	0	0
4 Fase 41	29,731	41,672	44,005	41,569	30,927	14,844
5 Fase 47 B	391	3,880	5,969	25,729	29,387	17,511
6 Fase 38 SC	9,719	15,016	2,264	0	0	0
7 Fase 38 SD	0	6,210	31,718	5,174	18,741	31,992
8 Fase 42	0	36,821	75,926	63,356	57,131	53,667
9 Fase 53	0	0	3,866	6,516	10,021	17,114

**Tabla 19: Movimiento anual Mina por fase**

La siguiente tabla, muestra el porcentaje de aumento en la extracción por fase del plan en comparación al plan de CODELCO Norte de largo plazo del año 2004. Se observa que durante el año 2006 existe un notorio aumento en la extracción de materiales de la mina para las fases 41, 38SD y 42.

Además, al igual que para el plan anterior, no se altera la extracción de material de la fase 53 que corresponde a una descarga.

Porcentaje de Variación	2004	2005	2006	2007	2008	2009
1 Fase 39						
2 Fase 40		3				
3 Fase 47 A		7	2			
4 Fase 41		4	10			
5 Fase 47 B						
6 Fase 38 SC						
7 Fase 38 SD			9			10
8 Fase 42		10	9			
9 Fase 53	0	0	0	0	10	8

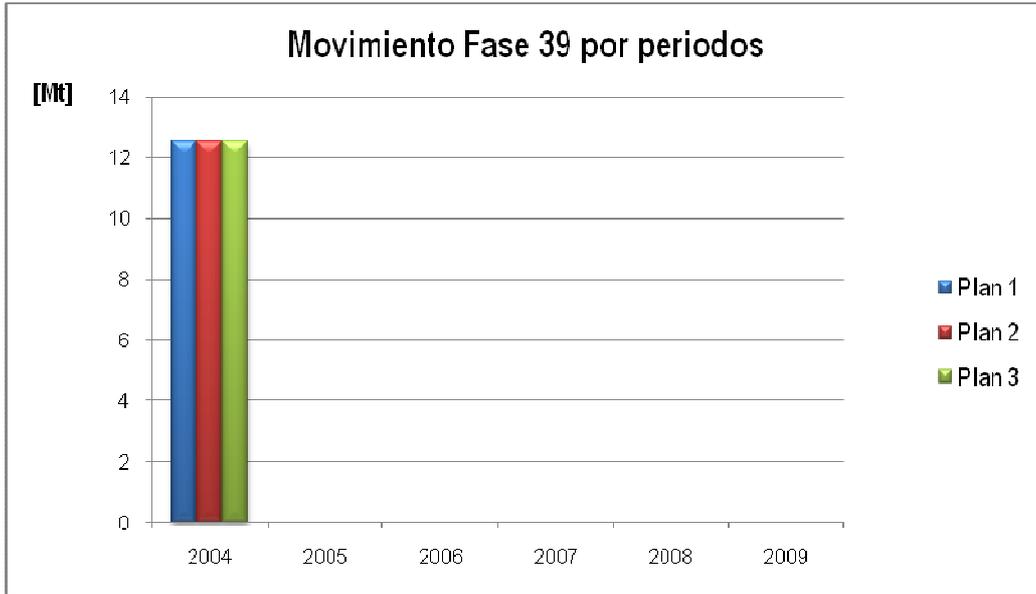
**Tabla 20: Porcentaje de aumento en la extracción anual por fases**

#### 4.6.4. Comparación entre planes

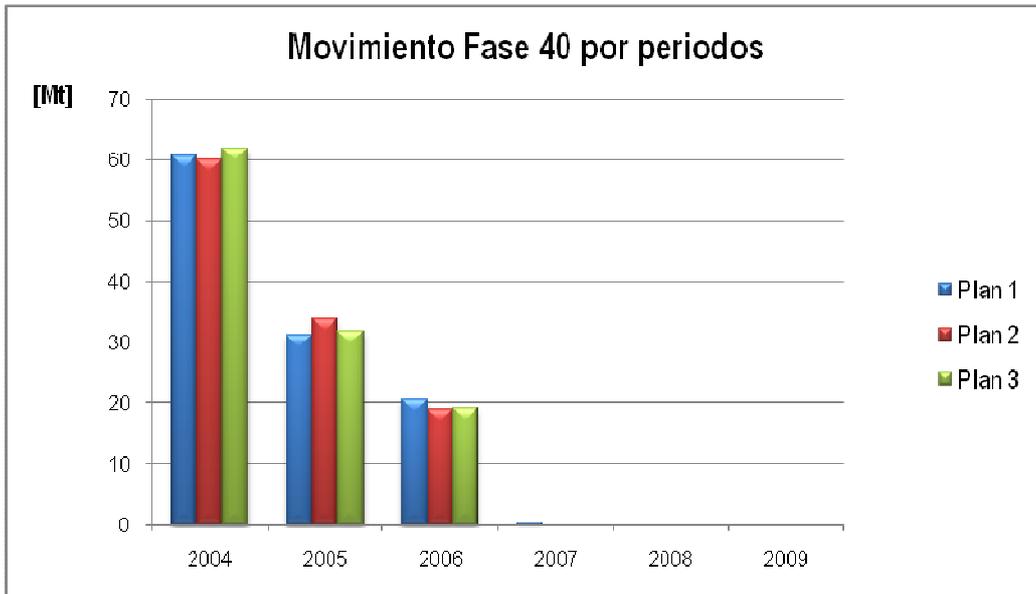
Los nueve gráficos a continuación, muestran la comparación entre los tres planes del movimiento mina para cada fase considerando los seis años que considera el periodo de planificación.

El plan 1 (en color azul), corresponde al base; el plan 2 (en color rojo), corresponde al plan bajo el criterio de extraer las mejores leyes en los periodos donde el precio del cobre es mayor. Y el plan 3 (en color verde), corresponde al plan bajo el criterio de postergar desarrollos.

Respecto al primer gráfico, el que muestra la fase 39, se observa que la extracción es idéntica para los tres planes. Esto debido a que la fase 39 es una fase pequeña de 4 bancos que solo posee mineral, entonces lo mejor resulta ser extraerla completa durante el primer año.



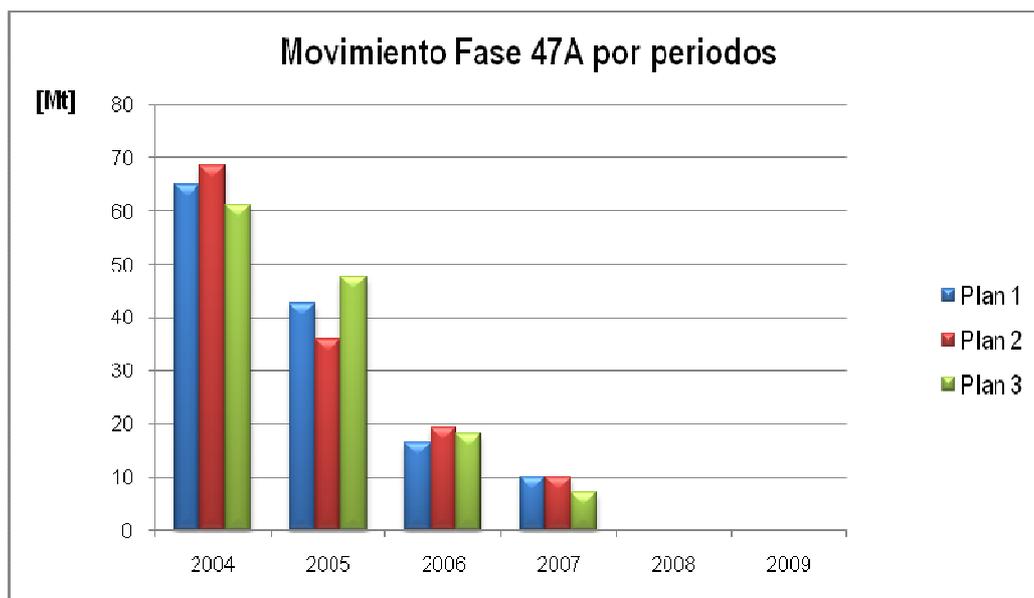
**Gráfico 23: Comparación entre planes del movimiento anual de la fase 39**



**Gráfico 24: Comparación entre planes del movimiento anual de la fase 40**

Del gráfico se desprende que la fase 40 se extrajo de forma muy similar en los tres planes, aumentando levemente su extracción en el año 2005 para el plan que tiene como criterio buscar las mejores leyes.

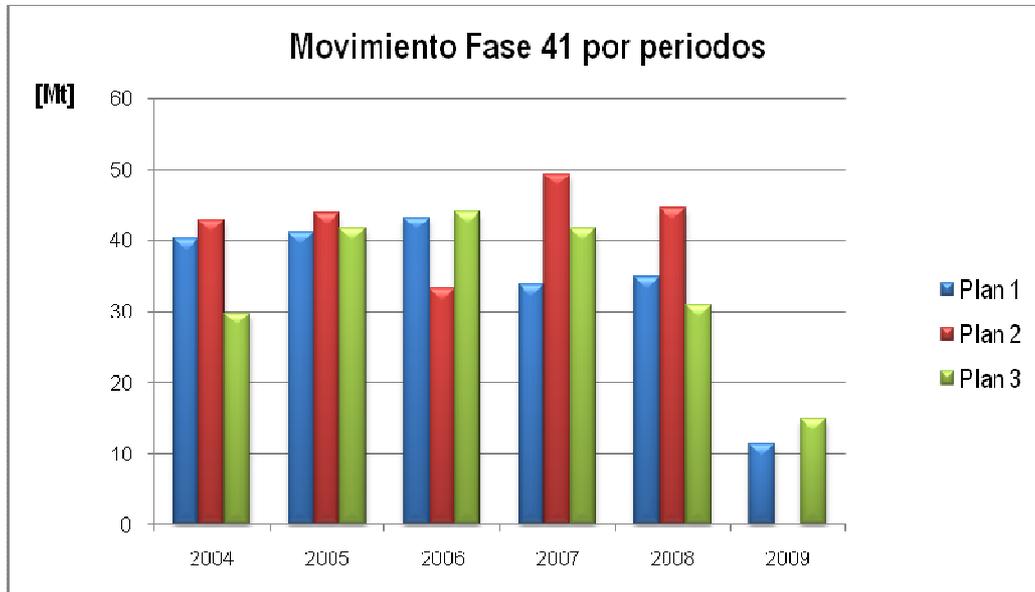
Lo anterior, se explica porque la fase 40 contiene muy poco estéril en relación a la cantidad de mineral que posee (6 [Mt] versus 107 [Mt]). Y además presenta leyes de cobre de sulfuros (sulfuros con leyes de cobre de 0.4% hacia arriba) muy parejas a partir del quinto banco, con un promedio de 0.96% de cobre (capítulo 3).



**Gráfico 25: Comparación entre planes del movimiento anual de la fase 47A**

Respecto a la fase 47A, se observa que el plan que busca las mejores leyes (plan 2), mueve más mineral durante el primer año, esto se explica en la necesidad de extraer el estéril al comienzo, ya que el precio del cobre aumenta a partir del año 2006. Por las características de esta fase (capítulo 3) se tiene que en los primeros 10 bancos existe gran cantidad de estéril, y que el mineral recién aparece en cantidades que aporten al plan a partir del sexto banco, desde donde, la ley promedio es de 1.2% de cobre. Por lo tanto, lo que hace el plan 2 es apurar la fase durante el primer año, extrayendo mayor cantidad de estéril; y retrasarla luego durante el segundo año; para dejar las mejores leyes a partir del año 2006 donde los precios del cobre empiezan su ascenso.

Por otro lado, el plan que posterga desarrollo, dadas las características de la fase. Retrasa la extracción durante el primer año; aumenta durante el segundo porque ya se alcanzó mineral; y los años restantes, extrae lo que queda.

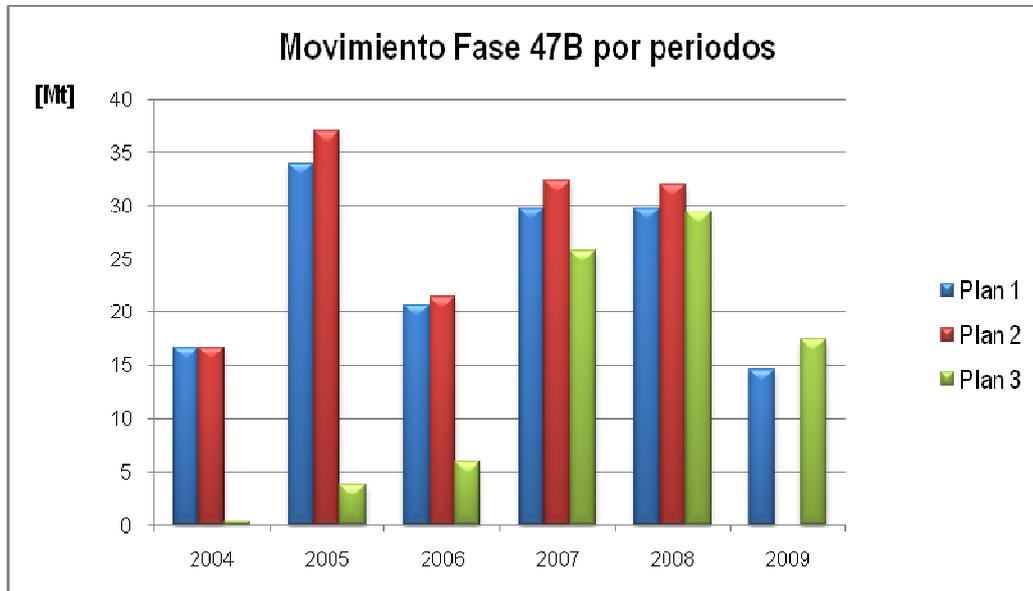


**Gráfico 26: Comparación entre planes del movimiento anual de la fase 41**

Como se explicó en capítulo 3, la fase 41 posee gran cantidad de estéril 73 [Mt] entre los veinte y un primeros bancos, donde más del 80% se concentra en los doce primeros bancos. La fase, presenta mineral en todos sus bancos, con leyes 0.46% de cobre en los doce primeros bancos y 0.85% de cobre para el resto de los bancos.

Sobre la fase 41, del gráfico se desprende que el plan que busca las mejores leyes (plan 2), aumenta la extracción durante los dos primeros años con el objeto de lograr extraer el mineral con mejores leyes durante los siguientes años.

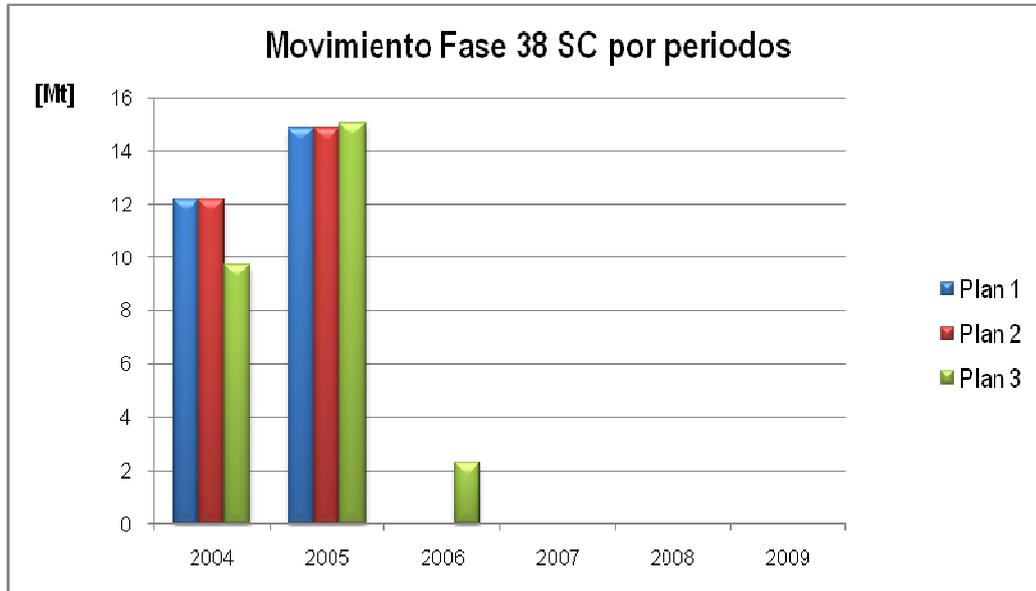
Y respecto al plan 3, se tiene que dado que al principio de la fase existe gran cantidad de estéril, se retrasa la fase hasta donde las restricciones lo permiten durante los primeros años.



**Gráfico 27: Comparación entre planes del movimiento anual de la fase 47 B**

Del gráfico anterior se desprende que, el plan 3, disminuye la extracción de material con respecto al plan base, durante los primeros cuatro años, equiparándose al quinto año y siendo un poco mayor en el último año, es decir en general el plan retrasa la fase. Por el contrario, el plan 2, el que busca las mejores leyes, aumenta la extracción de materiales a partir del segundo año en adelante, e incluso disminuye en un año la vida de la fase.

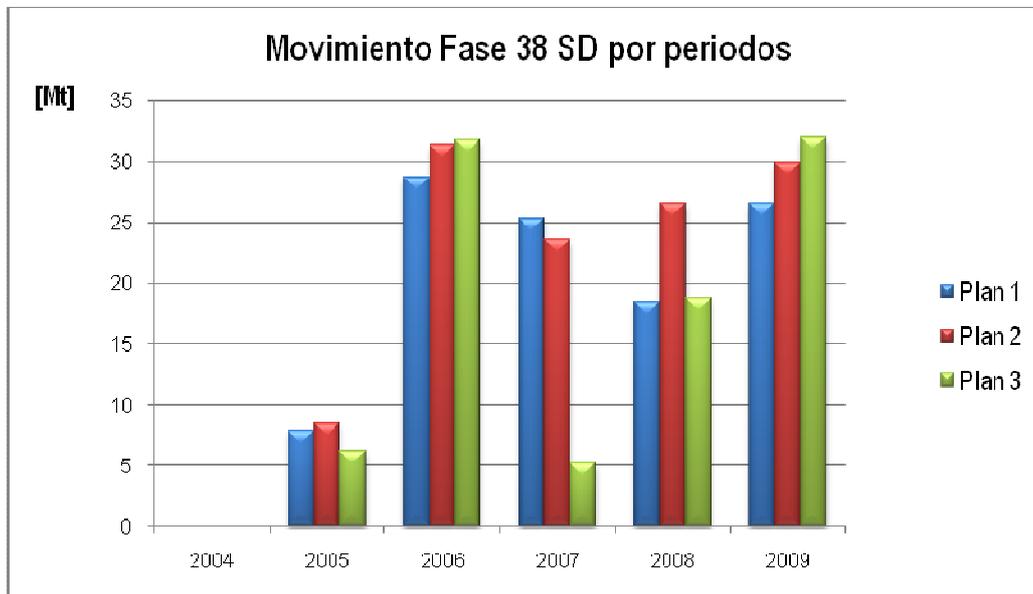
Lo anterior se explica por las características de la fase (capítulo 3), donde se tiene que el mineral aparece recién en el veinteavo banco, con una ley promedio de 1.1% de cobre. Luego, es necesario remover 107.5 [Mt] de estéril antes de llegar a poder extraer mineral. Por o tanto, debe existir un gran retraso en la fase para el caso del plan 3, y se debe apurar bastante la fase para el caso del plan 2, ya que las leyes que se encuentran en el fondo de la fase son considerablemente buenas.



**Gráfico 28: Comparación entre planes del movimiento anual de la fase 38 SC**

Respecto a la fase 38 SC, de acuerdo a lo que se desprende del gráfico, el plan que busca las mejores leyes en los periodos con mejores precios, la extracción es exactamente igual a la del plan base. Por otro lado, el plan 3, retrasa la fase el primer año, provocando que ésta extienda su vida en un año más.

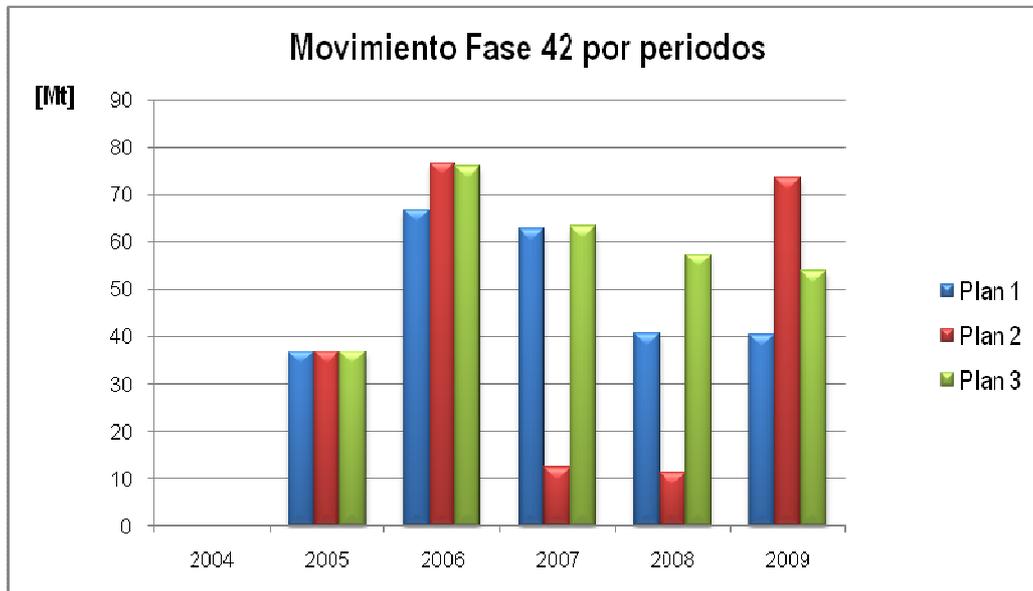
La explicación viene dada por las características de la fase que se detallaron en el capítulo 3. La fase 38 SC, presenta una distribución por banco de mineral y lastre relativamente similar, es decir, si un determinado banco posee más mineral, entonces ello conlleva que contenga una mayor cantidad de estéril. Siendo en la suma total, menor la cantidad de estéril que la de mineral; 9,6 [Mt] versus 17.4 [Mt] de mineral.



**Gráfico 29: Comparación entre planes del movimiento anual de la fase 38 SD**

En el gráfico referido a la fase 38 SD, al comparar el plan que busca las mejores leyes en periodos de precio más altos, se observa un aumento en la extracción de materiales durante el segundo año, seguido de una disminución en el tercero, para luego aumentar nuevamente en el quinto y sexto año. Esto se explica, dado que los primeros cinco bancos de la fase solo contienen estéril, luego viven un par de bancos con leyes alrededor de 0.6% de cobre, y de ahí en adelante vienen bancos con leyes promedio de 1.4% de cobre. Por lo tanto, lo que hace el plan, es apurar la fase al principio, de modo de dejar las mejores leyes para periodos con mejores precios.

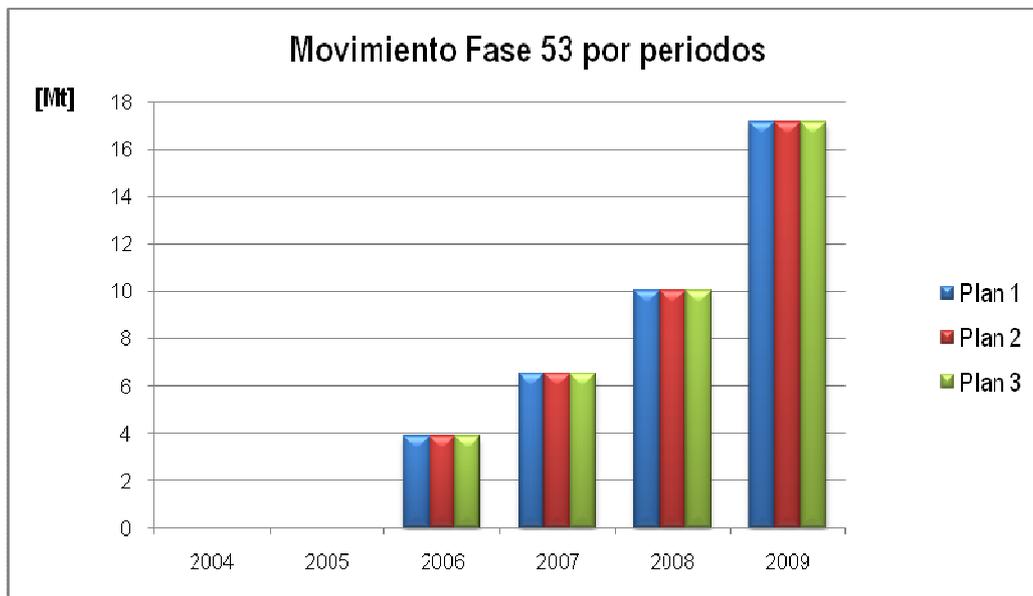
Por otro lado, el plan 3, lo que hace es disminuir la extracción durante el 2005, aumentarla durante el año 2006, debido a que en ese periodo se encuentran los bancos con mineral de mejor leyes. Y luego disminuye nuevamente la extracción, debido a que aumenta la cantidad de estéril por banco (capítulo 3).



**Gráfico 30: Comparación entre planes del movimiento anual de la fase 42**

Al realizar la comparación en la extracción del plan 2 con el plan base (plan 1), se observa que el plan que busca las mejores leyes, aumenta en alrededor de 10 [Mt] la extracción de materiales durante el año 2006, para disminuir en forma drástica durante los años 2007 y 2008, aumentando nuevamente el año 2009. Esto se explica por las características de la fase (capítulo 3), que al principio presenta cinco bancos que no poseen mineral viable de enviar a la planta concentradora. Luego presenta bancos con mineral de leyes promedio de 0.6% de cobre, que son bajas en comparación a las posibles de extraer de otras fases durante el mismo periodo.

Por otro lado, el plan que busca disminuir desarrollos, plan 3, durante los años 2006, 2008 y 2009 presenta una extracción mayor de la fase en comparación a la del plan base. Esto se explica porque durante esos periodos, de acuerdo al plan 3, se encuentra explotando bancos que poseen mayor cantidad de mineral que de estéril, pero con leyes no tan buenas en comparación a otras fases en el mismo periodo.



**Gráfico 31: Comparación entre planes del movimiento anual de la fase 53**

Como se explicó anteriormente, la fase 53 corresponde a una descarga. Por lo tanto no varía su forma de extracción entre un plan y otro.

## 4.7. Evaluación Económica

### 4.7.1. Plan Base

A continuación se presentan los flujos de caja nominales por año del plan base; evaluado con los precios definidos por las Orientaciones Comerciales de CODELCO Norte del año 2004, y evaluado con los precios reales del mismo periodo.

Año	Flujos de Caja Nominales [MUS\$]	
	Precios de OOC 2004	Precios Reales
2004	6.3*x	37.2*x
2005	11.2*x	65.5*x
2006	6.3*x	137.2*x
2007	0.4*x	118.4*x
2008	1.6*x	109.9*x
2009	3.5*x	68.3*x

**Tabla 21: Flujos de Caja Nominales por Año, del plan evaluado a precios de OOC 2004 y a precios reales.**

El VAN obtenido de la evaluación, es de 23.8\*x [MUS\$] al evaluarlo con los precios de las Orientaciones Comerciales 2004 y de 397.8\*x [MUS\$] al evaluarlo con los precios reales.

#### 4.7.2. Plan buscando las mejores leyes

El VAN obtenido al evaluar el plan que busca las mejores leyes de cobre en los periodos donde el precio del cobre es mayor, es de 25.2\*x [MUS\$] al evaluarlo con los precios de las Orientaciones Comerciales 2004 y de 407.2\*x [MUS\$] al evaluarlo con los precios reales del periodo 2004 al 2009.

La siguiente tabla muestra los flujos de caja nominales obtenidos de la evaluación del plan. A la izquierda, el plan evaluado con los precios de las Orientaciones Comerciales 2004; y al lado derecho, se muestra el plan evaluado con los precios reales del periodo.

Año	Flujos de Caja Nominales [MUS\$]	
	Precios de OOC 2004	Precios Reales
2004	6.1*x	36.9*x
2005	10.1*x	63.5*x
2006	7.1*x	140.7*x
2007	4.3*x	130.3*x
2008	5.6*x	124.6*x
2009	-2.2*x	52.5*x

**Tabla 22: Flujos de Caja Nominales por Año, del plan evaluado a precios de OOC 2004 y a precios reales.**

#### 4.7.3. Plan postergando desarrollos

Al evaluar el plan que utiliza como criterio, el postergar desarrollos, se obtienen diferentes flujos de caja nominales para cada periodo en función de la curva de precios del cobre que se esté utilizando.

La tabla siguiente, muestra el resultado obtenido de la evaluación, realizada con dos curvas de precios diferentes: una la curva de precios entregada por las Orientaciones Comerciales de CODELCO Norte del año 2004; y la otra, los precios reales del cobre durante el periodo 2004 al 2009.

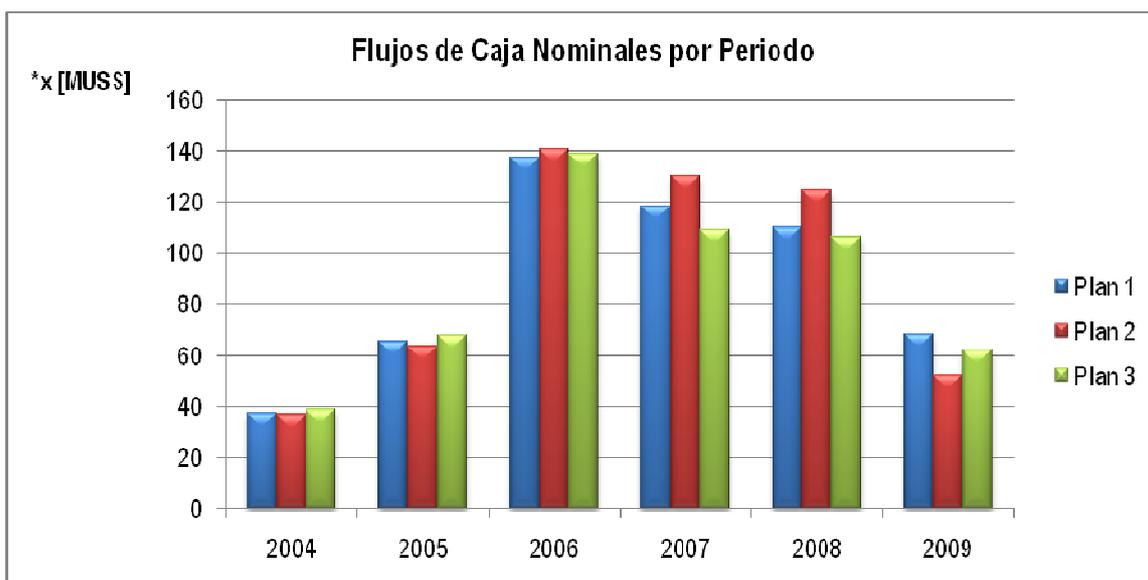
Año	Flujos de Caja Nominales	
	Precios de OCCC 2004	Precios Reales
2004	8*x	38.7*x
2005	13.1*x	67.9*x
2006	6.8*x	138.9*x
2007	-0.9*x	109.4*x
2008	-0.3*x	106.1*x
2009	0.1*x	61.8*x

**Tabla 23: Flujos de Caja Nominales por Año, del plan evaluado a precios de OCCC 2004 y a precios reales.**

El VAN obtenido de evaluar el plan con los precios de las Orientaciones Comerciales 2004 es de 22.9\*x [MUS]. Y el obtenido de evaluar el mismo plan con precios reales, es de 389.5\*x [MUS\$].

#### 4.7.4. Comparación entre Planes

A continuación se muestra en forma gráfica la comparación de los flujos de caja nominales obtenidos por periodo de evaluar los tres planes con los precios reales del periodo 2004 al 2009. Donde se observa que las diferencias entre un plan y otro, comienzan a notarse a partir del año 2007. Sobresaliendo el plan que busca las mejores leyes en los años donde el precio del cobre es mayor.



**Gráfico 32: Comparación flujos de caja anuales entre planes**

VAN [MUS\$]	Precios de OOC 2004	Precios Reales
Plan 1	24*x	398*x
Plan 2	25*x	407*x
Plan 3	23*x	390*x

**Tabla 24: VAN de los tres planes, evaluados con precios de OOC 2004 y precios reales**

La comparación del VAN obtenido al evaluar los tres planes con los precios reales del periodo 2004 al 2009, arroja que es mayor en 9.4\*x [MUS\$] para el caso del plan que busca las mejores leyes en los periodos donde el precio del cobre es mayor. Lo que significa un 2.4% mayor que el VAN obtenido de evaluar el plan base con los precios reales.

Con respecto al plan 3, que es el realizado bajo el criterio de retrasar los desarrollos, se obtiene un VAN inferior al obtenido en el plan que extrae la mejores leyes de cobre en los periodos donde el precio del cobre es mayor. Y más aun, resulta ser inferior en 8.3\*x [MUS\$] (2.1%) al plan base.

Considerando el VAN como parámetro de comparación para establecer que criterio es mejor que otro. Se concluye que el mejor criterio, resulta ser el de extraer los minerales con mejores leyes durante los periodos de tiempo donde el precio del cobre es mayor. Y el peor criterio es el de postergar desarrollos. Aunque cabe señalar que el delta VAN obtenidos de las

comparaciones es bastante bajo; lo que puede deberse al hecho de que los seis años tomados como el periodo de planificación resultan ser muy pocos.

Comparando ahora, la evaluación de los tres planes realizada con los precios de las Orientaciones Comerciales 2004; considerando el VAN como parámetro. Se tiene también que resulta ser mejor el criterio de extraer el mineral con mejores leyes durante el periodo de tiempo con mejores precios del cobre. Obteniéndose un VAN 5.5% mayor que el del plan base.

## **CAPITULO 5: Planificación periodo 2009 al fin de la mina**

Luego de realizar la planificación del periodo comprendido entre los años 2004 al 2009, en el capítulo 4; y seleccionar a partir de ello el mejor criterio a seguir para confeccionar un plan de largo plazo en Mina Chuquicamata. Lo que sigue, es planificar a partir del año 2010 hasta el fin de la mina.

De los tres planes realizados en el capítulo 4, lo que se obtuvo como resultado fue que el mejor criterio a tomar al momento de planificar a largo plazo en Mina Chuquicamata, es el de extraer las mejores leyes de cobre durante los periodos de tiempo donde el precio del mismo es mayor. Por lo tanto, ese será el criterio bajo el cual se confeccionarán los planes en éste capítulo.

La idea central del presente capítulo es definir diferentes escenarios de precios posibles en el largo plazo y en base a ellos, realizar la planificación a partir del año 2010. Considerando como punto de partida, el que se haya cumplido el plan base confeccionado en el capítulo 4; en particular, las fases se encuentran con el estéril y mineral dejado luego de haberlas explotado de acuerdo al plan base confeccionado en el capítulo 4.

A partir de los escenarios de precios del cobre que se definan y los planes que se confeccionen de acuerdo a ellos, se evaluará utilizando el VAN como criterio de comparación, cuál de ellos resulta ser el mejor plan en caso de darse el escenario para el cual se confeccionó o de darse cualquiera de los otros definidos.

### **5.1. Parámetros de Entrada**

#### **5.1.1 Procesos**

Al igual que como se mencionó en el capítulo 4, los procesos entre los cuales se divide el mineral extraído de Mina Chuquicamata, puede tratarse de diferentes formas dependiendo del tipo de roca y la ley que tenga. De acuerdo a las características del mineral solo se define un proceso en una planta de tratamiento determinada para cada bloque de mineral. Dichos procesos son:

- 1) Planta de SBL : sulfuros con ley entre 0.2 y 0.4 % de Cu
- 2) Planta de OBL : óxidos con ley superior a 0.2% de Cu
- 3) Planta Concentradora : sulfuros con leyes sobre 0.4% de Cu

### 5.1.2. Costos

Los costos utilizados varían en número respecto al capítulo 3, pero la estructura sigue siendo la misma: Costo Mina, Costo de Proceso y Costo de Venta.

El costo mina corresponde a un ponderado del costo mina del lastre y el costo mina del mineral. Por otro lado, el costo de proceso se encuentra dividido en el costo de proceso de la planta concentradora y el costo de la planta de tratamiento de SBL y OBL.

Años		2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
<b>Costo Mina</b>	US\$/t	1.64	1.60	1.47	1.43	1.37	1.32	1.36	1.52	1.75
<b>Costo Proceso</b>										
Planta de OBL y SBL	US\$/t	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33
Planta Concentradora	US\$/t	6.12	6.12	6.12	6.12	6.12	6.12	6.12	6.12	6.12
<b>Costo Venta</b>										
Cu	US\$/lb	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
Mo	US\$/kg	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50

**Tabla 25: Costo Mina, proceso y venta por año**

### 5.1.3. Recuperaciones Metalúrgicas

La tabla a continuación, presenta las recuperaciones metalúrgicas utilizadas por periodo, de acuerdo a los antecedentes que se manejan CODELCO Norte.

Año	Cu [%]	Mo [%]
2010	73.4	54.8
2011	73.9	56.1
2012	72.8	57.9
2013	70.9	51.2
2014	71.2	52.0
2015	71.2	52.0
2016	71.2	52.0
2017	71.2	52.0
2018	71.2	52.0

**Tabla 26: Recuperaciones metalúrgicas por año para el cobre y el molibdeno**

#### 5.1.4. Precio y Tasa de descuento

Los precios definidos en las Orientaciones Comerciales 2010 de CODELCO Norte, para el año 2009 en adelante se muestran en la tabla a continuación.

Año	OOCC 2010 [cUS\$/lb]
2010	189
2011	194
2012	197
2013	203
2014	181
2015	170
2016	165
2017	165
2018	165

**Tabla 27: vector del precio del cobre de acuerdo a las Orientaciones Comerciales 2010**

De acuerdo a lo establecido en las Orientaciones Comerciales 2010 de CODELCO, la tasa de descuento a utilizar es del 8 %.

## 5.2. Restricciones

### 5.2.1. Planta Concentradora

Al igual que en capítulo 4, una de las restricciones viene dada por la planta concentradora y la necesidad de cumplir con el mineral requerido por ésta.

Se define un aporte constante de Mina Radomiro Tomic a la planta concentradora de Chuquicamata de 40 ktpd, con mineral de ley constante de 0.6% de cobre. El resto de la capacidad de la planta debe ser llenado con mineral proveniente de Chuquicamata, lo que se resume en la tabla a continuación.

Año	Ktpd
2010	142
2011	142
2012	142
2013	142
2014	142
2015	142
2016	142
2017	142
2018	142

**Tabla 28: Mineral requerido por la planta concentradora**

### 5.2.2. Límites máximos de extracción por periodo para cada fase

Como se explicó en el capítulo 4, la extracción máxima por fase por periodo está limitada por la productividad de las fases. Calculada de la misma manera que en el capítulo anterior.

La tabla a continuación, presenta en kilo toneladas, los límites máximos de extracción por periodo para cada fase, definidos por el plan de largo plazo de CODELCO Norte del año 2010 para Mina Chuquicamata.

Movimiento Mina	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
1 Fase 39	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2 Fase 40	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3 Fase 47 A	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4 Fase 41	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5 Fase 47 B	3,123	0	0	0	0	0	0	0	0
6 Fase 38 SC	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7 Fase 38 SD	16,634	0	0	0	0	0	0	0	0
8 Fase 42	81,790	75,839	67,251	3,091	0	0	0	0	0
9 Fase 53	28,768	0	0	0	0	0	0	0	0
10 Fase 49	45,666	64,164	73,970	72,590	68,590	72,959	83,048	66,490	19,336
11 Fase 50	0	0	11,957	17,364	30,688	24,100	23,824	0	0

**Tabla 29: Movimiento anual Mina por fase**

### **5.3. Determinación de los escenarios de precio a considerar**

A partir de la curva de precios del cobre de largo plazo proyectados por CODELCO Norte en sus Orientaciones Comerciales 2010, se definieron tres escenarios más.

Dentro del procedimiento seguido para fijar dichos escenarios; primero se estableció un intervalo de confianza dentro del cual era probable que se dieran precios del cobre para los diferentes años. Y dentro de él se definieron tres curvas distintas.

Un criterio importante en la definición de los diferentes escenarios fue el buscar curvas de precios, tales que, provocaran una variación importante en los planes entre un escenario y otro. Es decir, que la influencia del precio del cobre no se reflejara solo al realizar la evaluación económica de un mismo plan con un vector de precios diferente; sino que el plan fuera necesariamente diferente para ambos y su evaluación económica fuera diferente debido a los planes y no solo al precio.

De acuerdo a lo anterior, se definieron cuatro escenarios de precios del cobre diferentes.

#### **5.3.1. Escenario 1:**

Vector de precios dados por las Orientaciones Comerciales 2010 de CODELCO Norte. Con un precio mínimo de 183 [cUS\$/lb] y un máximo de 200,9 [cUS\$/lb]

#### **5.3.2. Escenario 2:**

Curva de precios obtenida a partir de linealizar el vector de precios entregado por las Orientaciones Comerciales 2010 de CODELCO Norte. Como resultado, se obtiene una curva que presenta los mayores precios durante los primeros años, y que comienzan a disminuir en los años posteriores.

#### **5.3.3. Escenario 3:**

Vector dado por precios que alcanzan sus valores mínimos durante los cuatro primeros años, para luego comenzar a subir y alcanzar sus valores máximos los cuatro últimos años.

#### 5.3.4. Escenario 4:

Es totalmente lo opuesto al escenario 3, el vector de precios viene dado por valores que alcanzan sus máximos durante los cuatro primeros años, para luego comenzar a descender y alcanzar sus valores mínimos los cuatro últimos años.

A continuación, se muestran en forma gráfica las curvas de los cuatro escenarios y en líneas segmentadas se presenta el intervalo dentro de los cuales se pueden dar los precios.

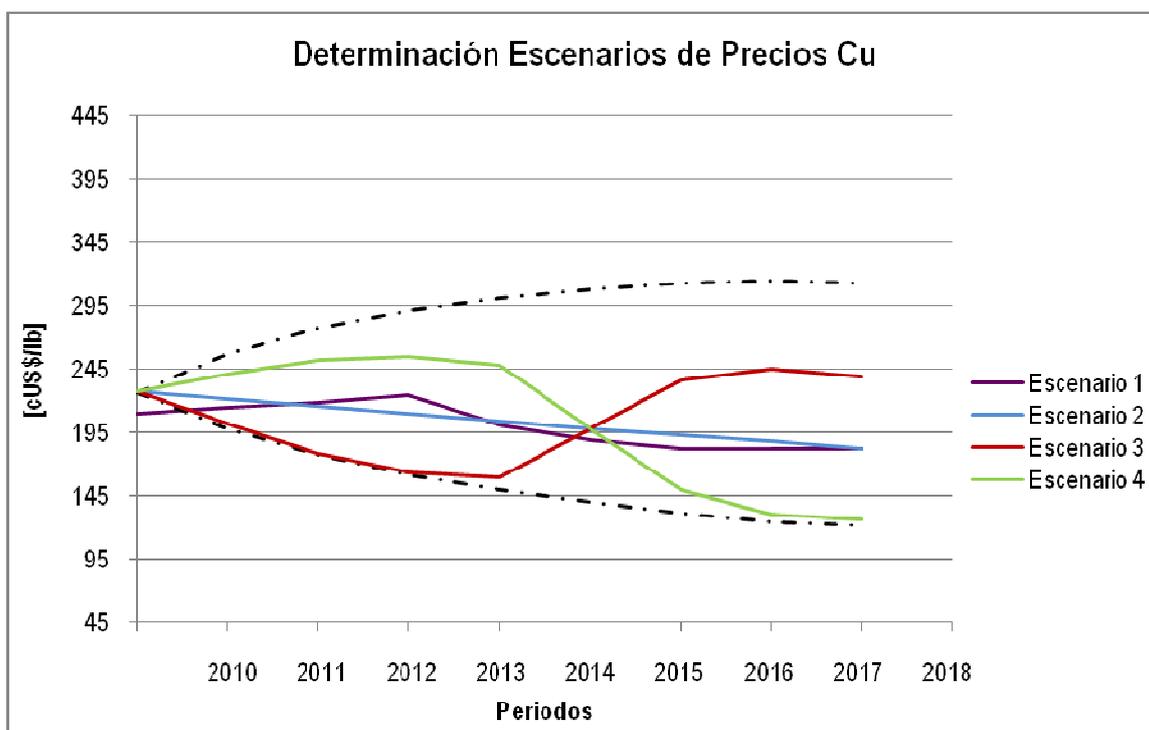


Gráfico 33: Escenarios de precios del cobre

La siguiente tabla, presenta el detalle de los valores de los precios por cada periodo para los diferentes escenarios.

Año	Escenario 1 [cUS\$/lb]	Escenario 2 [cUS\$/lb]	Escenario 3 [cUS\$/lb]	Escenario 4 [cUS\$/lb]
2010	210	228	228	228
2011	215	222	202	241
2012	219	216	179	252
2013	225	210	164	255
2014	201	204	160	248
2015	189	199	199	199
2016	183	193	237	150
2017	183	188	245	131
2018	183	183	239	127

*Tabla 30: Precios del cobre para cada escenario*

### 5.3. Determinación de los planes a desarrollar

Como criterio base, se considera como punto de partida, asumir que se ha cumplido el plan base confeccionado en el capítulo 4 entre los años 2004 al 2009. Es decir, las fases que se tenían planificadas para el año 2004, ya fueron extraídas de acuerdo al plan base hasta el año 2009.

Por la forma, tamaño y distribución del mineral que presentan las fases para fines del 2009, resulta imposible obtener planes muy diferentes, es decir, no existen muchas opciones al momento de extraer mineral del yacimiento. Dado lo anterior, y para entregar flexibilidad a los planes que contemplan el periodo 2010 al fin de la mina, es necesario agregar dos nuevas fases que no se tenían presentes en el plan de largo plazo realizado por CODELCO Norte el año 2004, pero que aparecieron en planes de años posteriores.

Para el periodo 2009 al fin de la mina se realizan cuatro planes, utilizando el criterio de extraer el mineral con mejores leyes de cobre en los periodos que el precio del cobre es mayor. Además de asegurar la cantidad requerida de mineral por la planta concentradora.

Considerando los precios establecidos en las Orientaciones Comerciales 2010 de CODELCO Norte, se definen tres escenarios diferentes a partir de ello.

### **5.3.1. Plan 1**

Plan confeccionado en base a los precios de las Orientaciones Comerciales 2010 de CODELCO Norte.

### **5.3.2. Plan 2**

Plan en base al escenario 2 de precios, obtenido de linealizar la curva de precios dados por las Orientaciones Comerciales 2010.

### **5.3.3. Plan 3**

Plan en base al escenario 3 de precios. Dicha curva de precios, presenta precios mínimos durante los primeros años, para subir luego, terminando con los mayores precios durante los últimos años.

### **5.3.4. Plan 4**

Plan en base al escenario 4 de precios, que consiste en una curva que presenta los precios mayores durante los primeros años, disminuyendo luego, llegando a los precios más bajos durante los últimos años.

## **5.4. Metodología**

La metodología a seguir para llevar a cabo la confección de los cuatro planes, es exactamente la misma que la presentada en el capítulo 4 para la confección de los planes que en él se presentaron

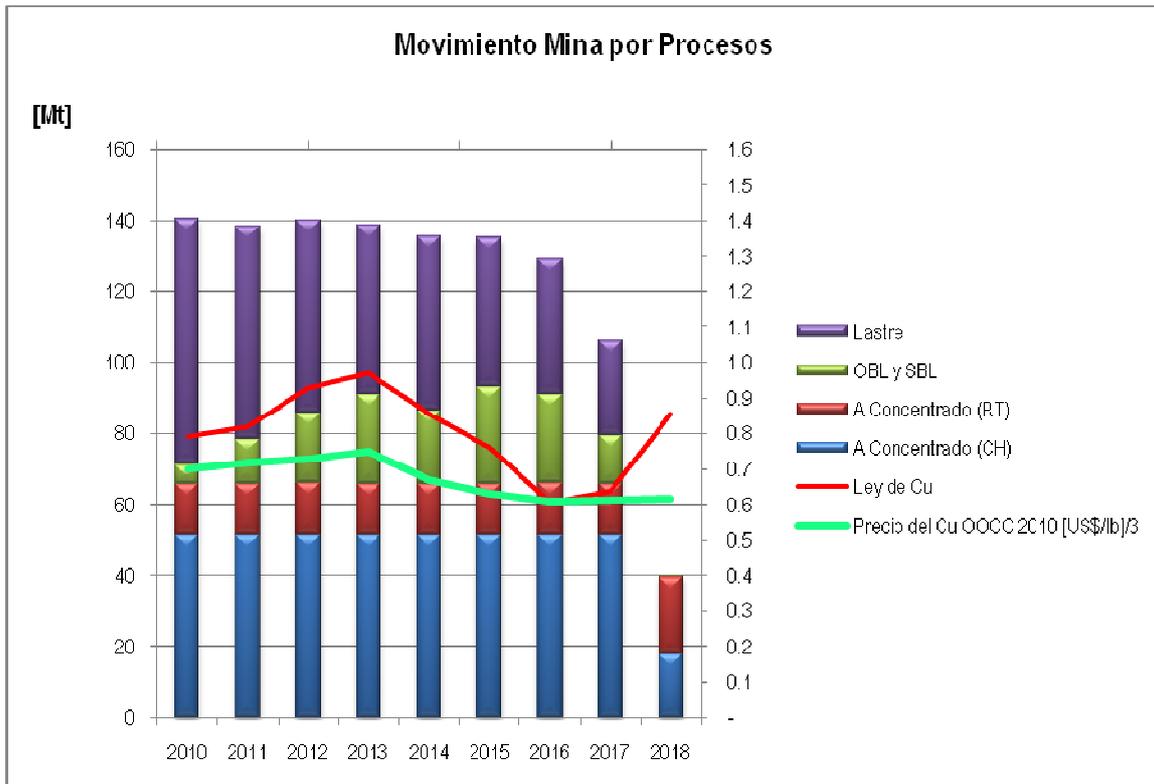
## 5.5. Planes

Dados los escenarios de precios definidos y las características iniciales de la mina al año 2010, se realizaron los cuatro planes determinados con anterioridad. A continuación, se presenta el detalle de los planes en forma gráfica y por medio de tablas.

Los gráficos, presentan el movimiento de materiales por año. Detallado en mineral a planta concentradora proveniente de Mina Chuquicamata y de Mina Radomiro Tomic, mineral a planta de tratamiento de OBL y SBL y lastre. Además en los gráficos se presentan las curva de ley de cobre del mineral proveniente de Chuquicamata enviado a planta concentradora y la curva de precio del cobre dado por el escenario correspondiente a cada plan.

Las tablas, detallan por plan: los movimientos de mineral a los distintos procesos, sus leyes de cobre y molibdeno, el movimiento de estéril, el movimiento total y la razón lastre mineral por cada periodo.

### 5.5.1. Plan 1

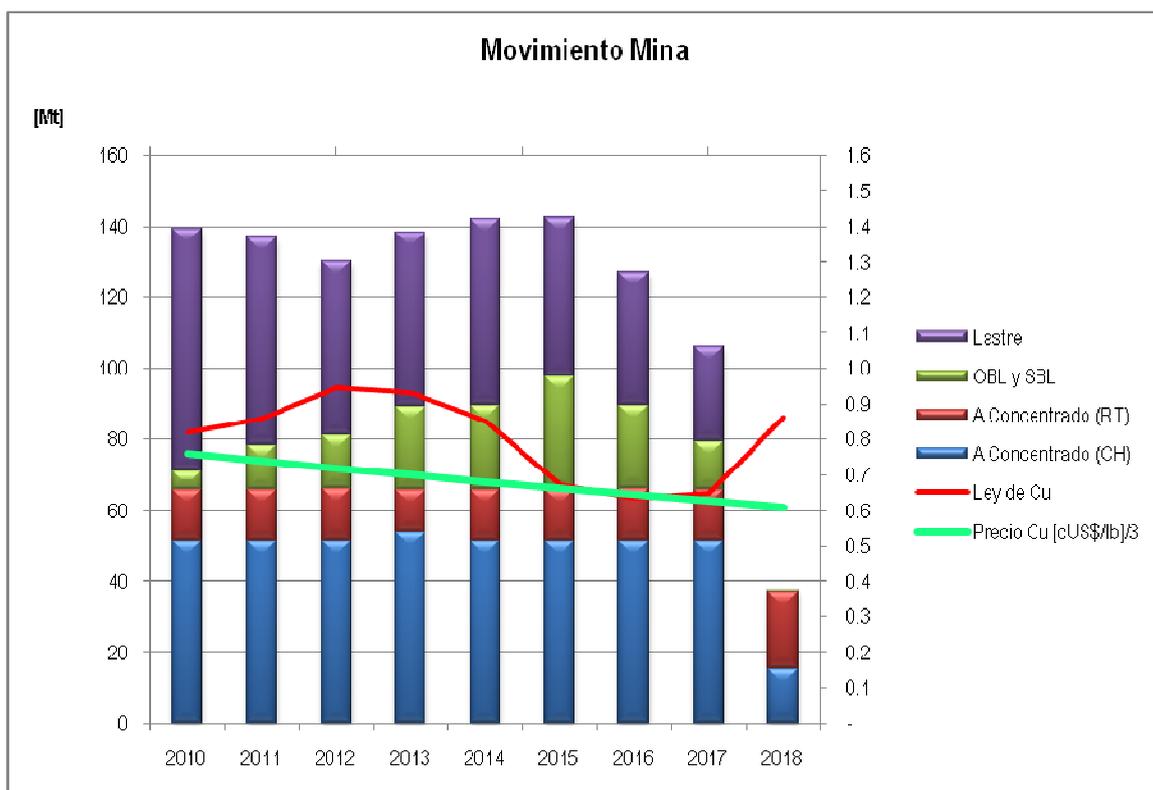


**Gráfico 34: anual mina por materiales. Ley de cobre a concentradora y precio del cobre**

PERIODO	SULFURO A CONCENTRACION						MINERAL A PLANTA SBL				LASTRE	TOTAL		L/M
	DE MINA			DE STOCK DE RT		TOTAL		OBL y SBL DE MINA		kts		kts	ktsd	
	kts	%CuT	%Mo	Kts	%CuT	kts	kts/d	kts	%CuT					
2010	51,404	0.79	0.03	14,480	0.60	65,884	182	5,401	0.33	69,100	125,905	348	1.22	
2011	51,404	0.82	0.04	14,480	0.60	65,884	182	12,598	0.33	59,981	123,984	342	0.94	
2012	51,546	0.93	0.04	14,520	0.60	66,066	182	19,707	0.33	54,212	125,465	346	0.76	
2013	51,404	0.97	0.05	14,480	0.60	65,884	182	25,113	0.33	47,536	124,053	343	0.62	
2014	51,404	0.86	0.05	14,480	0.60	65,884	182	20,679	0.33	48,870	120,954	334	0.68	
2015	51,404	0.76	0.05	14,480	0.60	65,884	182	27,202	0.00	42,014	120,620	333	0.53	
2016	51,546	0.60	0.02	14,520	0.60	66,066	182	24,881	0.33	38,242	114,670	316	0.50	
2017	51,404	0.64	0.02	14,480	0.60	65,884	182	13,669	0.33	26,626	91,698	253	0.41	
2018	18,025	0.85	0.03	21,720	0.60	39,745	110	145	0.33	0	18,170	50	0.00	

**Tabla 31: Detalle del movimiento mina por periodo**

### 5.5.2. Plan 2

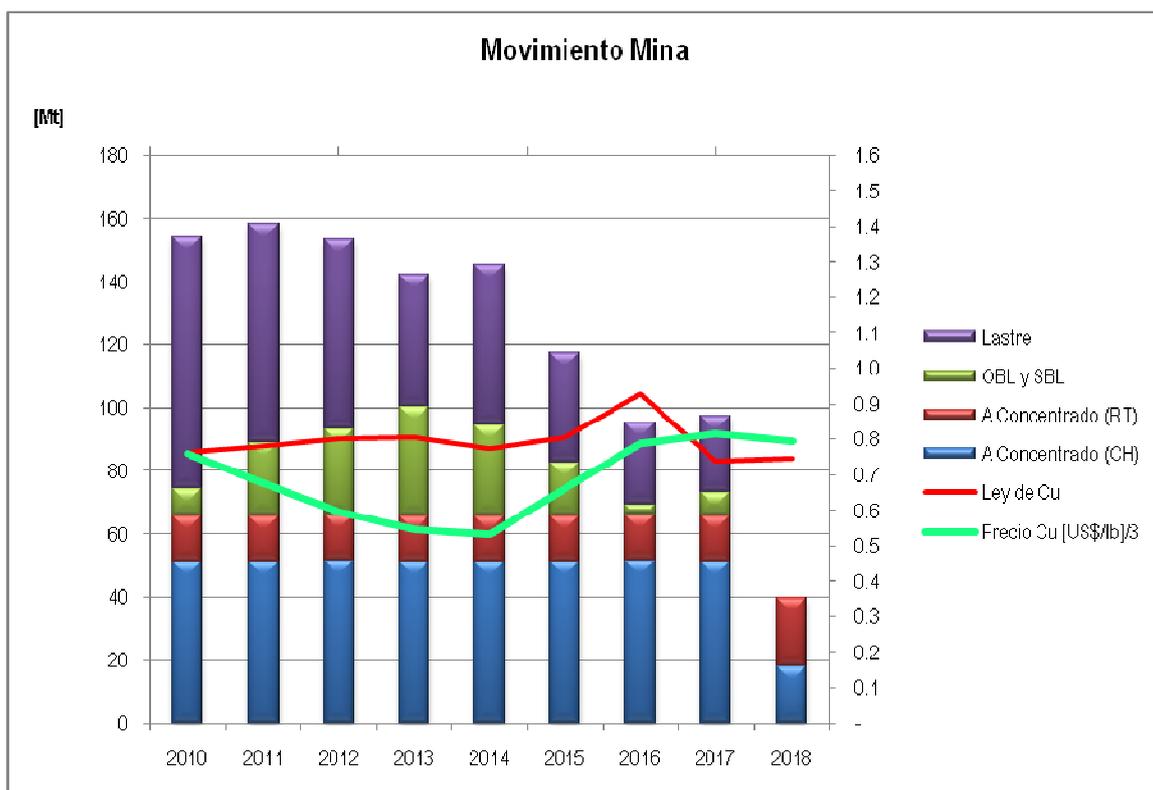


**Gráfico 35: anual mina por materiales. Ley de cobre a concentradora y precio del cobre**

PERIODO	SULFURO A CONCENTRACION						MINERAL A PLANTA SBL				LASTRE	TOTAL		L/M
	DE MINA			DE STOCK DE RT		TOTAL		OBL y SBL DE MINA		kts		kts	ktsd	
	kts	%CuT	%Mo	Kts	%CuT	kts	kts/d	kts	%CuT					
2010	51,404	0.82	0.04	14,480	0.60	65,884	182	5,332	0.33	68,288	125,024	345	1.20	
2011	51,404	0.86	0.05	14,480	0.60	65,884	182	12,468	0.33	58,545	122,417	338	0.92	
2012	51,546	0.95	0.04	14,520	0.60	66,066	182	15,187	0.33	49,196	115,928	319	0.74	
2013	54,038	0.93	0.05	11,846	0.60	65,884	182	23,584	0.33	49,021	126,642	350	0.63	
2014	51,404	0.85	0.05	14,480	0.60	65,884	182	23,648	0.33	52,620	127,672	353	0.70	
2015	51,404	0.67	0.04	14,480	0.60	65,884	182	31,691	0.00	44,815	127,910	353	0.54	
2016	51,546	0.63	0.02	14,520	0.60	66,066	182	23,704	0.33	37,488	112,738	311	0.50	
2017	51,404	0.65	0.02	14,480	0.60	65,884	182	13,672	0.33	26,610	91,686	253	0.41	
2018	15,391	0.86	0.03	21,720	0.60	37,111	103	109	0.33	0	15,500	43	0.00	

**Tabla 32: Detalle del movimiento mina por periodo**

### 5.5.3. Plan 3

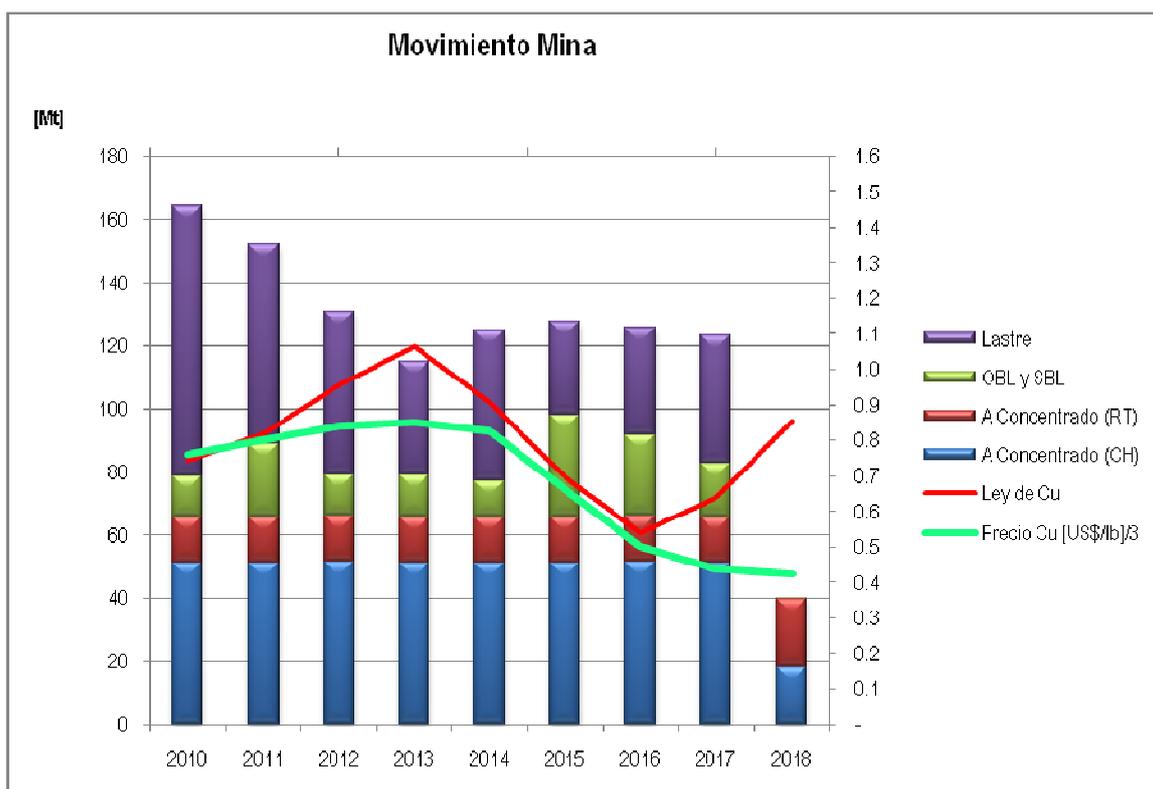


**Gráfico 36: anual mina por materiales. Ley de cobre a concentradora y precio del cobre**

PERIODO	SULFURO A CONCENTRACION						MINERAL A PLANTA SBL				LASTRE	TOTAL		L/M
	DE MINA			DE STOCK DE RT		TOTAL		OBL y SBL DE MINA		kts		kts	ktsd	
	kts	%CuT	%Mo	Kts	%CuT	kts	kts/d	kts	%CuT					
2010	51,404	0.76	0.03	14,480	0.60	65,884	182	8,460	0.33	79,574	139,438	385	1.33	
2011	51,404	0.78	0.04	14,480	0.60	65,884	182	23,093	0.33	69,523	144,019	398	0.93	
2012	51,546	0.80	0.03	14,520	0.60	66,066	182	27,454	0.33	59,883	138,883	383	0.76	
2013	51,404	0.80	0.03	14,480	0.60	65,884	182	34,420	0.33	41,981	127,806	353	0.49	
2014	51,404	0.77	0.04	14,480	0.60	65,884	182	28,573	0.33	50,743	130,720	361	0.63	
2015	51,404	0.81	0.04	14,480	0.60	65,884	182	16,725	0.00	34,824	102,953	284	0.51	
2016	51,546	0.93	0.07	14,520	0.60	66,066	182	3,345	0.33	25,878	80,769	223	0.47	
2017	51,404	0.74	0.03	14,480	0.60	65,884	182	7,326	0.33	24,177	82,907	229	0.41	
2018	18,025	0.75	0.03	21,720	0.60	39,745	110	0	0.00	0	18,025	50	0.00	

**Tabla 33: Detalle del movimiento mina por periodo**

**5.5.4. Plan 4**



**Gráfico 37: anual mina por materiales. Ley de cobre a concentradora y precio del cobre**

PERIODO	SULFURO A CONCENTRACION						MINERAL A PLANTA SBL				LASTRE	TOTAL		L/M
	DE MINA			DE STOCK DE RT		TOTAL		OBL y SBL DE MINA		kts		kts	ktsd	
	kts	%CuT	%Mo	Kts	%CuT	kts	kts/d	kts	%CuT					
2010	51,404	0.74	0.03	14,480	0.60	65,884	182	13,063	0.33	85,157	149,624	413	1.32	
2011	51,404	0.82	0.04	14,480	0.60	65,884	182	23,096	0.33	63,025	137,525	380	0.85	
2012	51,546	0.96	0.04	14,520	0.60	66,066	182	13,330	0.33	51,224	116,100	320	0.79	
2013	51,404	1.07	0.07	14,480	0.60	65,884	182	13,271	0.33	35,885	100,560	278	0.55	
2014	51,404	0.91	0.07	14,480	0.60	65,884	182	11,549	0.33	47,437	110,390	305	0.75	
2015	51,404	0.70	0.03	14,480	0.60	65,884	182	32,360	0.00	29,393	113,157	313	0.35	
2016	51,546	0.54	0.01	14,520	0.60	66,066	182	25,726	0.33	34,037	111,310	307	0.44	
2017	51,404	0.64	0.02	14,480	0.60	65,884	182	16,854	0.33	40,424	108,682	300	0.59	
2018	18,025	0.85	0.03	21,720	0.60	39,745	110	145	0.33	0	18,170	50	0.00	

**Tabla 34: Detalle del movimiento mina por periodo**

## 5.6. Extracción por fases

### 5.6.1. Plan 1

En la tabla "movimiento mina" que se presenta a continuación, se presenta el movimiento total de materiales en kilo toneladas, es decir, mineral mas lastre de la mina, para cada fase por año. Se observa que las fases 39, 40, 47A y 38 SD, ya no participan del plan, dado que se agotaron durante el periodo 2004 al 2009.

Movimiento Mina	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
1 Fase 39	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2 Fase 40	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3 Fase 47 A	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4 Fase 41	13,861	0	0	0	0	0	0	0	0
5 Fase 47 B	6,137	5,336	5,634	5,122	0	0	0	0	0
6 Fase 38 SC	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7 Fase 38 SD	12,085	4,304	1,045	0	0	0	0	0	0
8 Fase 42	44,650	64,597	45,033	35,472	35,002	34,100	12,678	2,028	0
9 Fase 53	24,836	0	0	0	0	0	0	0	0
10 Fase 49	24,335	43,467	61,295	64,791	53,489	60,715	77,074	65,842	18,170
11 Fase 50	0	6,279	12,458	18,668	32,462	25,805	24,917	23,828	0

**Tabla 35: Movimiento anual Mina por fase**

La tabla siguiente muestra el porcentaje de movimiento por fases en cada año, sobre el movimiento mina determinado por CODELCO Norte en su plan de largo plazo. Se observa que la fase 50 presenta variaciones considerables; esto se debe a que en las cubicaciones, la fase 50 del plan de CODELCO Norte presenta menor cantidad de material que la fase 50 utilizada para realizar el plan del ejercicio.

Porcentaje de Variación	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
1 Fase 39									
2 Fase 40									
3 Fase 47 A									
4 Fase 41									
5 Fase 47 B									
6 Fase 38 SC									
7 Fase 38 SD									
8 Fase 42									
9 Fase 53									
10 Fase 49									
11 Fase 50			4	8	6	7	5		

**Tabla 36: Porcentaje de aumento en la extracción anual por fases**

### 5.6.2. Plan 2

A continuación se presentan los movimientos de material total (mineral mas lastre) realizados de acuerdo al plan 2 en cada fase, durante cada año. Nuevamente se observa que las fases 39, 40, 47A y 38 SC no participan, ya que se agotaron durante el periodo anterior.

Movimiento Mina	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
1 Fase 39	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2 Fase 40	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3 Fase 47 A	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4 Fase 41	12,187	1,674	0	0	0	0	0	0	0
5 Fase 47 B	8,898	8,208	5,122	0	0	0	0	0	0
6 Fase 38 SC	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7 Fase 38 SD	12,085	4,304	1,045	0	0	0	0	0	0
8 Fase 42	42,682	58,483	55,653	39,949	35,191	22,304	19,299	0	0
9 Fase 53	24,836	0	0	0	0	0	0	0	0
10 Fase 49	24,335	43,467	41,650	68,026	60,019	79,801	68,522	67,858	15,500
11 Fase 50	0	6,279	12,458	18,668	32,462	25,805	24,917	23,828	0

**Tabla 37: Movimiento anual Mina por fase**

La siguiente tabla muestra el porcentaje de movimiento de materiales por fases sobre el planificado por CODELCO Norte en el plan de largo plazo del 2010. Se observa que la fase 53, que corresponde a una descarga, presenta los mismos porcentajes que para el caso del plan 1, esto es debido a que se extrajo de la misma forma. Por otro lado, la fase 49, aumenta su extracción notoriamente durante el año 2015.

Porcentaje de Variación	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
1 Fase 39									
2 Fase 40									
3 Fase 47 A									
4 Fase 41									
5 Fase 47 B									
6 Fase 38 SC									
7 Fase 38 SD									
8 Fase 42									
9 Fase 53									
10 Fase 49						9		2	
11 Fase 50			4	8	6	7	5		

**Tabla 38: Porcentaje de aumento en la extracción anual por fases**

### 5.6.3. Plan 3

Como uno de los resultados de la confección del tercer plan, lo que se obtuvo, es el movimiento mina por fases durante cada año que se detalla en la tabla siguiente. Al igual que para los casos anteriores, se observa que las fases 39, 40, 47A y 38 SC ya no se encuentran en funcionamiento.

Movimiento Mina	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
1 Fase 39	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2 Fase 40	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3 Fase 47 A	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4 Fase 41	8,453	3,734	1,674	0	0	0	0	0	0
5 Fase 47 B	3,011	2,227	2,025	2,150	1,287	3,788	7,741	0	0
6 Fase 38 SC	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7 Fase 38 SD	13,009	4,326	99	0	0	0	0	0	0
8 Fase 42	51,259	56,869	41,325	26,497	21,832	20,518	35,962	2,083	17,217
9 Fase 53	24,836	0	0	0	0	0	0	0	0
10 Fase 49	38,870	70,583	81,301	80,491	75,139	52,842	12,148	56,996	808
11 Fase 50	0	6,279	12,458	18,668	32,462	25,805	24,917	23,828	0

**Tabla 39: Movimiento anual Mina por fase**

La siguiente tabla detalla el porcentaje de variación sobre el movimiento de materiales por fase definido por CODELCO Norte en su planificación de largo plazo para el periodo 2010 al fin de la mina.

Se observa que la extracción en la fase 50 se mantiene igual que en los planes 1 y 2. Y se observa también, un aumento en la extracción durante la primera mitad del periodo en la fase 49. Correspondiente a estéril que, como se explicó en el capítulo 3, se encuentra en los bancos superficiales de la fase. Además cabe señalar que la fase 49 no se caracteriza por tener buenas leyes. Por lo tanto, lo que se está haciendo, es preparar la fase para la segunda mitad del periodo, donde los precios del cobre son mayores y en el intertanto remover el estéril y enviar a la planta concentradora mineral de leyes relativamente bajas en comparación al presente en otras fases.

Porcentaje de Variación	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
1 Fase 39									
2 Fase 40									
3 Fase 47 A									
4 Fase 41									
5 Fase 47 B									
6 Fase 38 SC									
7 Fase 38 SD									
8 Fase 42									
9 Fase 53									
10 Fase 49		10	10	10	10				
11 Fase 50			4	8	6	7	5		

**Tabla 40: Porcentaje de aumento en la extracción anual por fases**

#### 5.6.4. Plan 4

La siguiente tabla muestra el movimiento mina por fase durante cada año desde el 2010 al 2018, de acuerdo a lo planificado en el plan 4.

Movimiento Mina	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
1 Fase 39	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2 Fase 40	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3 Fase 47 A	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4 Fase 41	9,727	4,135	0	0	0	0	0	0	0
5 Fase 47 B	3,011	5,887	2,575	8,291	2,465	0	0	0	0
6 Fase 38 SC	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7 Fase 38 SD	4,254	3,568	5,517	1,799	2,296	0	0	0	0
8 Fase 42	58,880	52,082	54,101	38,040	38,539	31,919	0	0	0
9 Fase 53	24,836	0	0	0	0	0	0	0	0
10 Fase 49	48,916	65,574	41,450	29,278	29,634	71,938	91,558	72,662	18,170
11 Fase 50	0	6,279	12,458	18,668	32,462	25,805	24,917	23,828	0

**Tabla 41: Movimiento anual Mina por fase**

De acuerdo a la tabla anterior y al movimiento por fase durante cada periodo definidos en el plan de largo plazo de CODELCO Norte, se determina el porcentaje sobre lo planificado por CODELCO Norte de movimiento de mineral por fases. Dichos porcentajes se presentan en la tabla a continuación.

Se observa que la fase 50 presenta los mismos movimientos mina que lo planificado en los planes 1, 2 y 3; esto debido a que se trata de una descarga. Por otro lado, se observa que la fase 49, presenta un aumento en la extracción durante el primer año y nuevamente aumenta en los años 2016 y 2017. Lo anterior se explica por la curva de precios que se utilizó en la confección del plan, la cual presenta los mayores precios del cobre durante los primeros años. Por lo tanto, lo que se hace al comienzo es remover el estéril de la fase que se encuentra en los bancos superiores y luego se extrae poco mineral, ya que las leyes de cobre son bajas comparadas con las de otras fases. El hecho de bajar el movimiento de la fase en los años con mejores precios del cobre, hace necesario luego, apurar la fase, lo que explica el aumento mostrado en los años 2016 y 2017.

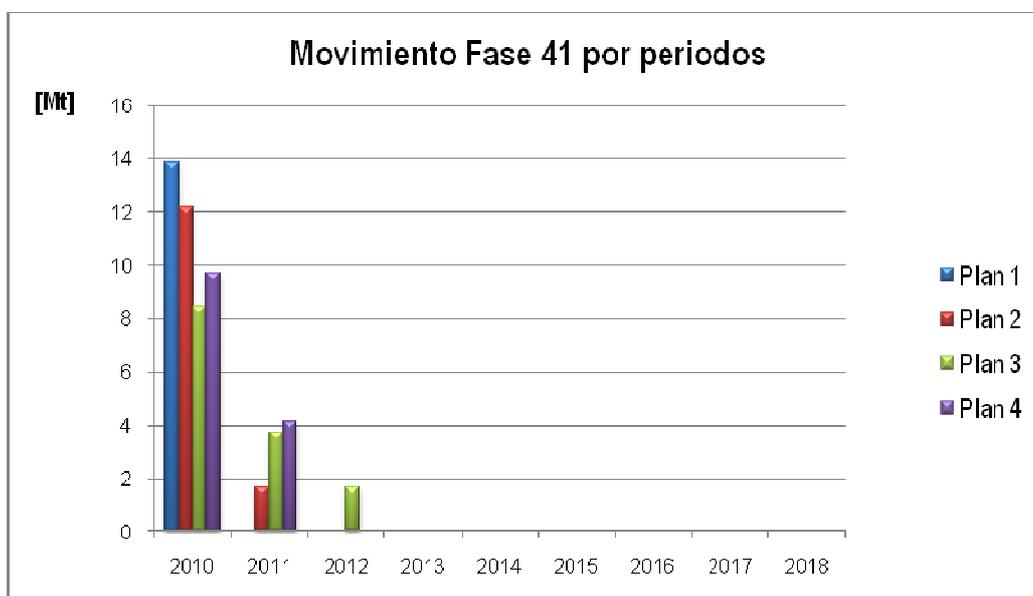
Porcentaje de Variación	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
1 Fase 39									
2 Fase 40									
3 Fase 47 A									
4 Fase 41									
5 Fase 47 B									
6 Fase 38 SC									
7 Fase 38 SD									
8 Fase 42									
9 Fase 53									
10 Fase 49	7	2					10	9	
11 Fase 50			4	7	5	7			

**Tabla 42: Porcentaje de aumento en la extracción anual por fases**

### 5.6.5. Comparación entre planes

Las fases 39, 40, 47 A y 38 SC no tienen participación en el periodo del 2009 al fin de la mina, dado que se agotan durante el periodo anterior de planificación.

A continuación se muestran en forma grafica, la comparación entre planes de la extracción por fases para cada periodo. En azul se muestra el plan 1 que corresponde al plan en base a los precios del cobre dados por las Orientaciones Comerciales 2010 de CODELCO Norte. En rojo, se muestra el plan 2, que corresponde al plan realizado en base al vector linealizado de precios de las Orientaciones Comerciales 2010. En verde se muestra el plan 3, que corresponde al realizado considerando una curva de precio del cobre que comienza con precios bajos, para luego aumentar hacia los años finales. En morado se muestra el plan 4, que corresponde al plan bajo el escenario con una curva de precios que presenta precios del cobre mayores al comienzo y hacia el final los menores.



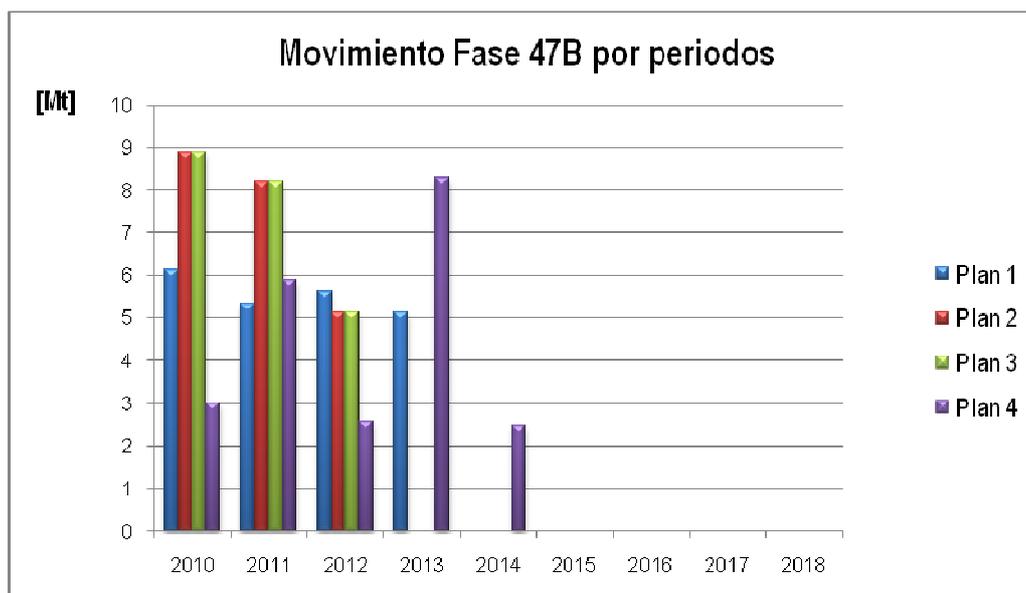
**Gráfico 38: Comparación entre planes del movimiento anual de la fase 41**

Respecto a la fase 41, lo que quedan son tres bancos que contienen 13.9 [Mt] de mineral, y nada de estéril; con ley promedio 0.81% de cobre para el mineral catalogado como sulfuros.

De acuerdo a lo que se observa en el gráfico; el plan 1, que es el considerado como plan base, ajustado a lo planificado por CODELCO Norte; extrae todo el mineral de la fase durante el primer año.

El tercer plan, extrae todo el mineral durante los tres primeros años, postergando en parte la extracción de la fase, aumentando la vida de ésta en dos años con respecto al plan base. Esto se explica porque, durante ese periodo el precio del cobre disminuye en mayor medida que para el escenario 1. Y por lo tanto, durante los primeros años se intenta cumplir con la capacidad de la planta utilizando fases con leyes mayores, dentro de lo disponible.

El plan 2, extrae el mineral durante los dos primeros años, que corresponden al periodo donde el precio del cobre es mayor, de acuerdo al escenario que se está considerando para realizar el plan. El cuarto plan, presenta un escenario de precios que aumenta durante los primeros años, por lo tanto, a pesar de que la fase se extrae también en dos años, éste plan extrae mas durante el primer año ya que, prioriza para el segundo año extraer fases con mejores leyes de cobre que las que ofrece la fase 41.



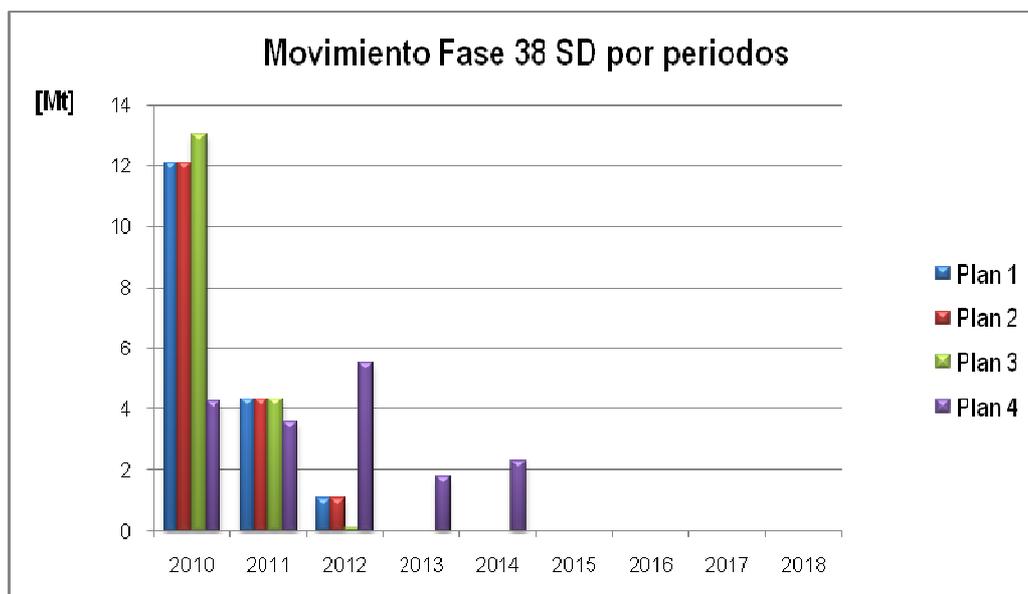
**Gráfico 39: Comparación entre planes del movimiento anual de la fase 47 B**

Luego de la planificación del periodo anterior (2004-2009) la fase 47B, queda al fin del año 2009 compuesta por 22.2 [Mt] de mineral, con una ley de 1.3 % de cobre para el mineral catalogado como sulfuros.

De lo que se observa en el gráfico, el plan base (plan1), contempla extraer la fase en cuatro años, con un ritmo promedio de 5.5 [Mt] por año.

Por otro lado, los planes 2 y 3, extraen la fase de la misma forma. Aumentando considerablemente la extracción durante el primer y segundo año, provocando una disminución de un año en la vida de la fase con respecto al plan base. El hecho de extraer con mayor rapidez la fase durante los primeros años, se explica por las curvas del precio del cobre, que a pesar de ser diferentes para ambos planes, en ambos casos, el precio del primer año es mayor que para los dos años posteriores. Y como es una fase con buenas leyes, lo más conveniente es extraerla en forma rápida.

Respecto al plan 3, del grafico se desprende que posterga la fase, extendiendo la vida de ésta en un año más que el plan base, y en dos más que los planes 2 y 3. Esto se explica por las buenas leyes de cobre de la fase y el escenario de precios utilizados para el plan, donde se presentan precios bajos al principio y a partir de la mitad del periodo, comienzan a aumentar, alcanzando los máximos al final. Por lo tanto, lo que el plan hace es postergar la fase dejando las buenas leyes de cobre para los periodos con precios más altos.



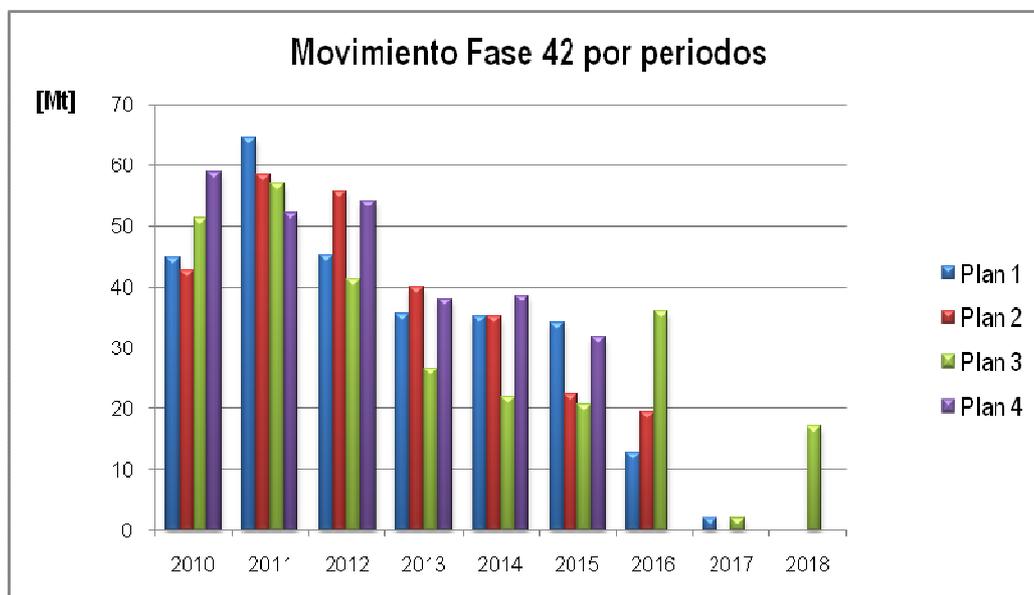
**Gráfico 40: Comparación entre planes del movimiento anual de la fase 38 SD**

La fase 38 SD al comienzo del periodo a planificar, se encuentra conformada por 14.7 [Mt] de mineral y 2.7 [Mt] de estéril, con una ley de 0.86% de cobre para el mineral clasificado como sulfuros.

El plan base, demora tres años en extraer la fase completa, concentrando la mayor parte durante el primer año, disminuyendo radicalmente para el segundo y aun más, para el tercer año. El segundo plan, se ajusta en forma perfecta al plan base, extrayendo la fase de la misma forma. Lo que se explica porque las curvas de precios utilizadas para realizar los planes, son muy similares entre sí.

El plan 3, demora dos años en extraer la fase, aumentando el movimiento durante el primer año. El hecho de apurar la fase, se explica porque el tercer plan considera una curva de precios que disminuye durante la primera mitad del periodo de evaluación. Por lo tanto, se busca extraer las buenas leyes al principio.

Lo contrario ocurre con el plan 4, que se realizó utilizando un escenario de precios altos durante la primera mitad del periodo, que disminuyen durante la segunda mitad. Por lo tanto, lo que hace el plan es retrasar la fase, de modo de dejar las buenas leyes para los años finales y alcanzar a extraer el mineral bajo un ambiente de buenos precios del cobre.



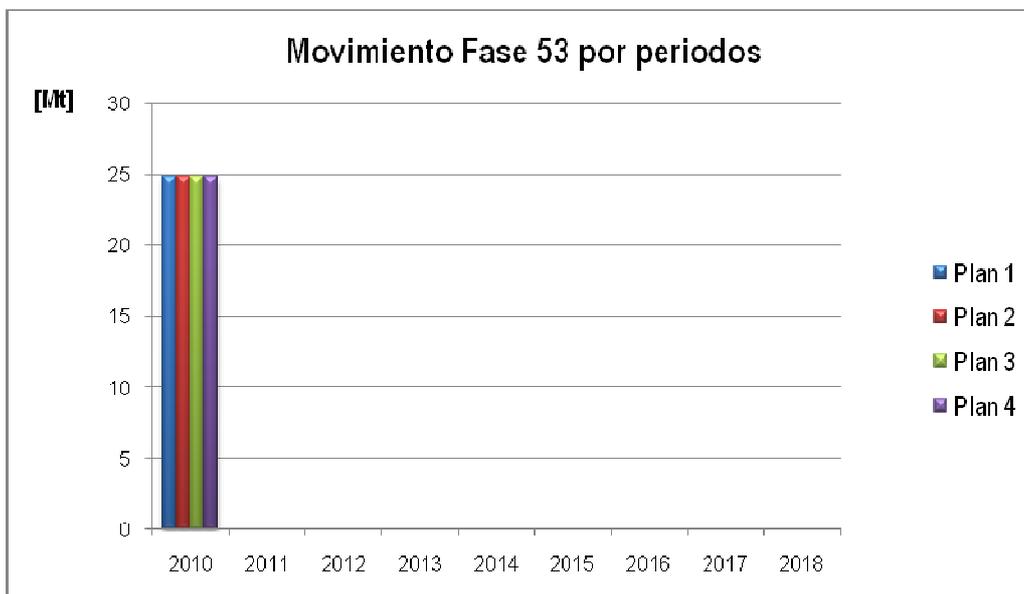
**Gráfico 41: Comparación entre planes del movimiento anual de la fase 42**

A principio del 2010, al inicio del periodo a planificar, se tiene que la fase está compuesta por 52.6 [Mt] de estéril y 221 [Mt] de mineral con una ley de 0.85 % de cobre para el mineral clasificado como sulfuro.

De la grafica se desprende que el plan base extrae la fase en ocho años, siendo el segundo año el con mayor movimiento. Durante los primeros años, se extrae el estéril presente en la fase, ya que éste se encuentra en los bancos más superficiales.

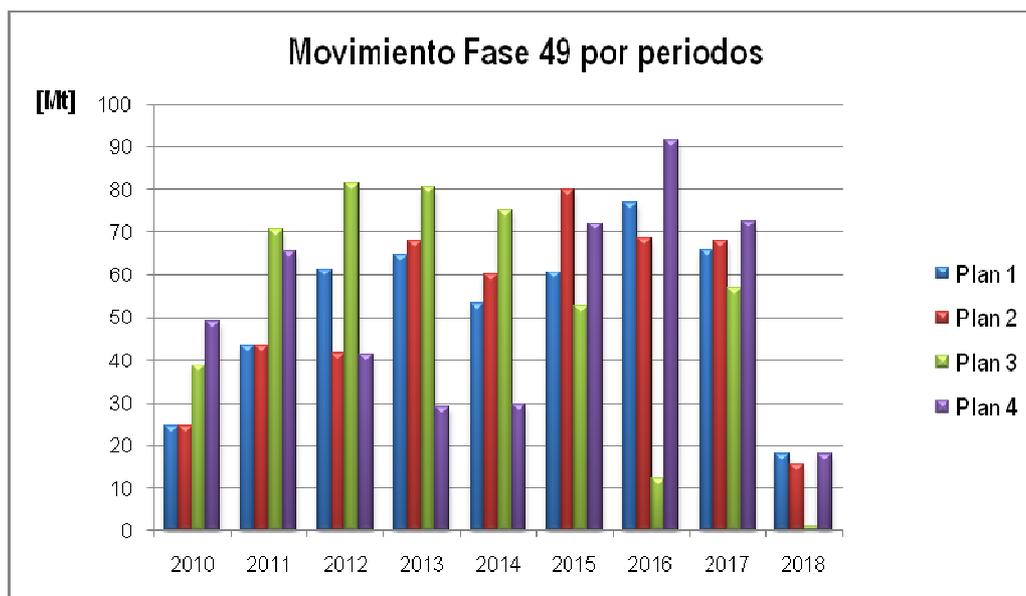
El plan 2, es muy similar al plan base, se diferencian solo en que dura un año menos y solo se observan pequeñas diferencias en el segundo y tercer año del periodo de evaluación. Como se explicó con anterioridad, esto se debe a que las curvas de precios utilizadas como base para realizar los planes, son muy similares en ambos planes.

El tercer plan, comienza a diferenciarse notoriamente a partir del año 2012, donde se disminuye el movimiento con respecto al plan base, aumentando nuevamente el año 2016 y el año 2018. Lo anterior se puede explicar considerando la curva de precios tomada para construir el plan. Dicha curva presenta precios del cobre bajos durante los primeros años y aumentan hacia el final del periodo. Entonces, durante los primeros años se busca extraer el lastre presente en los bancos más superficiales, y luego se retrasa la fase, dejando las mejores leyes de cobre para el periodo con mejores precios.



**Gráfico 42: Comparación entre planes del movimiento anual de la fase 53**

La fase 53, como se explicó en capítulos anteriores, corresponde a una descarga, por lo tanto el movimiento es igual para los cuatro planes. A comienzos del año 2010 la fase 53 cuenta con 24.8 [Mt] de estéril y nada de mineral. Las que de acuerdo a lo mostrado en el gráfico, son extraídas por completo en el año 2010.



**Gráfico 43: Comparación entre planes del movimiento anual de la fase 49**

La fase 49, no es una de las fases consideradas en el plan de CODELCO Norte de largo plazo del año 2004; sino que aparece en planes posteriores. Y como se explicó, solo se agregó para dar más holgura a la planificación. Por lo tanto, su explotación comienza recién a partir del año 2010.

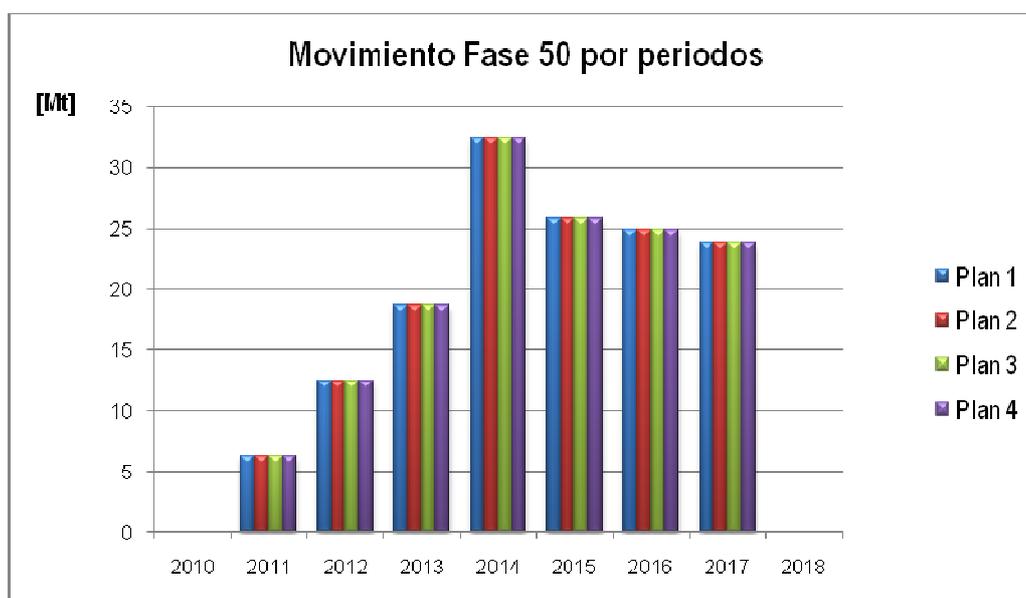
Ésta fase, está compuesta por 160.6 [Mt] de estéril y 308.6 [Mt] de mineral, con una ley de 0.6% de cobre para el mineral catalogado como sulfuros. Donde las mejores leyes de cobre se encuentran hacia los bancos más profundos.

El plan base, comienza moviendo 24 [Mt] de material y aumenta progresivamente hasta el año 2013, llegando a 65 [Mt], disminuye al año siguiente y comienza a aumentar nuevamente, llegando a 77 [Mt] el año 2016, para disminuir nuevamente los años posteriores. La vida de la fase se extiende por nueve años.

El plan 1, es muy similar al plan base, solo se diferencian en los años 2012, donde disminuye, y en el año 2015, donde aumenta la extracción de materiales. Esto se explica porque los escenarios de precios son muy similares para ambos planes.

Respecto al plan 3, en comparación al plan base, aumenta el movimiento de materiales de la fase durante los dos primeros años, luego lo disminuye hasta el 2014, para aumentarlo nuevamente hasta el final. Lo que se explica porque es un fase con leyes más bajas que las otras disponibles y por la curva de precios tomada para realizar el plan. Por lo tanto, al principio, que se tienen precios bajos, se extrae más material de la fase, dado que las leyes son bajas en comparación a las demás. Y luego, cuando los precios suben, se disminuye el movimiento de materiales, priorizando enviar mineral a la planta concentradora proveniente de otras fases con mejores leyes.

El mismo argumento que explica el plan 3, puede utilizarse para explicar el cuarto plan. Con la diferencia que en este caso, el periodo de precios altos se encuentra al principio, por lo tanto el movimiento de materiales es menor al principio del periodo de planificación.



**Gráfico 44: Comparación entre planes del movimiento anual de la fase 50**

La fase 53, corresponde a una descarga, por lo tanto está formada exclusivamente por estéril, 144.4 [Mt]. El cual es extraído de la misma forma por los cuatro planes.

## 5.7. Evaluación Económica

### 5.7.1. Plan 1

Al evaluar el plan 1, que corresponde al plan base; es decir, el plan que se ajusta a lo planificado por CODELCO Norte, se obtienen los flujos de caja nominales por periodo que se presentan en la tabla de a continuación.

Año	Flujos de Caja Nominales [MUS\$]
	Precios Escenario 1
2010	35*x
2011	43*x
2012	55*x
2013	60*x
2014	42*x
2015	25*x
2016	13*x
2017	15*x
2018	16*x

**Tabla 43: Flujos de caja nominales por año**

El VAN obtenido de la evaluación económica del plan utilizando los precios determinados por las Orientaciones Comerciales 2010 de CODELCO Norte, es de 224\*x [MUS\$] para el periodo de tiempo comprendido entre los años 2010 al 2018.

### 5.7.2. Plan 2

De la evaluación del plan realizado en base al escenario 2 de precios se obtienen los resultados que se presentan en la tabla siguiente. Al lado izquierdo se muestran los flujos de caja nominales por cada periodo del plan 2, evaluado con los precios de las Orientaciones Comerciales 2010. Y al lado derecho de la tabla, se presentan los flujos de caja nominales por año del plan 2, evaluado con los precios del escenario 2.

Año	Flujos de Caja Nominales [MUS\$]	
	Precios OOC 2010	Precios Escenario 2
2010	37*x	46*x
2011	47*x	50*x
2012	57*x	36*x
2013	58*x	26*x
2014	40*x	20*x
2015	17*x	33*x
2016	16*x	58*x
2017	16*x	63*x
2018	15*x	44*x

**Tabla 44: Flujos de caja nominales por año**

El VAN obtenido de la evaluación económica del plan 2 evaluado con los precios de las Orientaciones Comerciales 2010 es de 225\*x [MUS\$]. Y el VAN obtenido de evaluar el mismo plan con los precios del escenario 2, es de 257\*x [MUS\$].

### 5.7.3. Plan 3

Al evaluar el plan 3, confeccionado en base a un escenario de precios del cobre que presenta los menores valores durante el primer periodo, y los mejores valores durante el último. Se obtienen 205\*x [MUS\$] al evaluar el plan con la serie de precios presentada por el escenario 3. Y 213\*x [MUS\$] al evaluar el mismo plan con los precios de las Orientaciones Comerciales 2010.

La tabla a continuación, presenta los flujos de caja nominales por año, obtenidos de la evaluación del plan. Al lado izquierdo se presenta la evaluación hecha con el vector de precios dado por las Orientaciones Comerciales 2010. Y al lado derecho se presenta la evaluación realizada con los precios del escenario 3.

Año	Flujos de Caja Nominales [MUS\$]	
	Precios OOC 2010	Precios Escenario 3
2010	31*x	39*x
2011	38*x	32*x
2012	42*x	23*x
2013	46*x	17*x
2014	33*x	15*x
2015	29*x	34*x
2016	41*x	68*x
2017	23*x	49*x
2018	14*x	27*x

**Tabla 45: Flujos de caja nominales por año**

#### 5.7.4. Plan 4

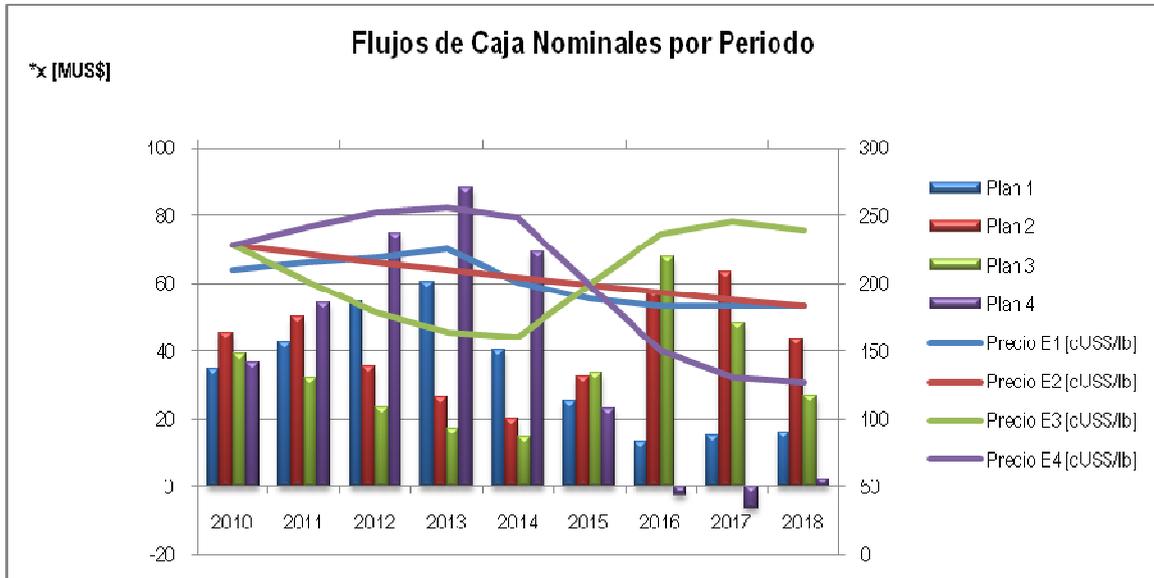
El VAN obtenido de la evaluación del plan 4, realizada con los precios del escenario 4 cuyo vector presenta los mayores valores al comienzo del periodo y disminuye hacia los años finales, es de 263\*x [MUS\$]. Si el mismo plan se evalúa con el vector de precios del cobre dadas por las Orientaciones Comerciales 2004, se obtienen 224\*x [MUS\$].

Los flujos de caja nominales por periodo obtenidos de la evaluación del plan, son presentados en la tabla a continuación. Al lado izquierdo, la evaluación realizada con los precios de las Orientaciones Comerciales 2010. Y al lado derecho, con los precios del escenario 4.

Año	Flujos de Caja Nominales [MUS\$]	
	Precios OOC 2010	Precios Escenario 4
2010	29*x	37*x
2011	42*x	54*x
2012	57*x	75*x
2013	71*x	88*x
2014	46*x	69*x
2015	19*x	23*x
2016	9*x	-3*x
2017	14*x	-6*x
2018	16*x	2*x

**Tabla 46: Flujos de caja nominales por año**

### 5.7.5. Comparación entre planes

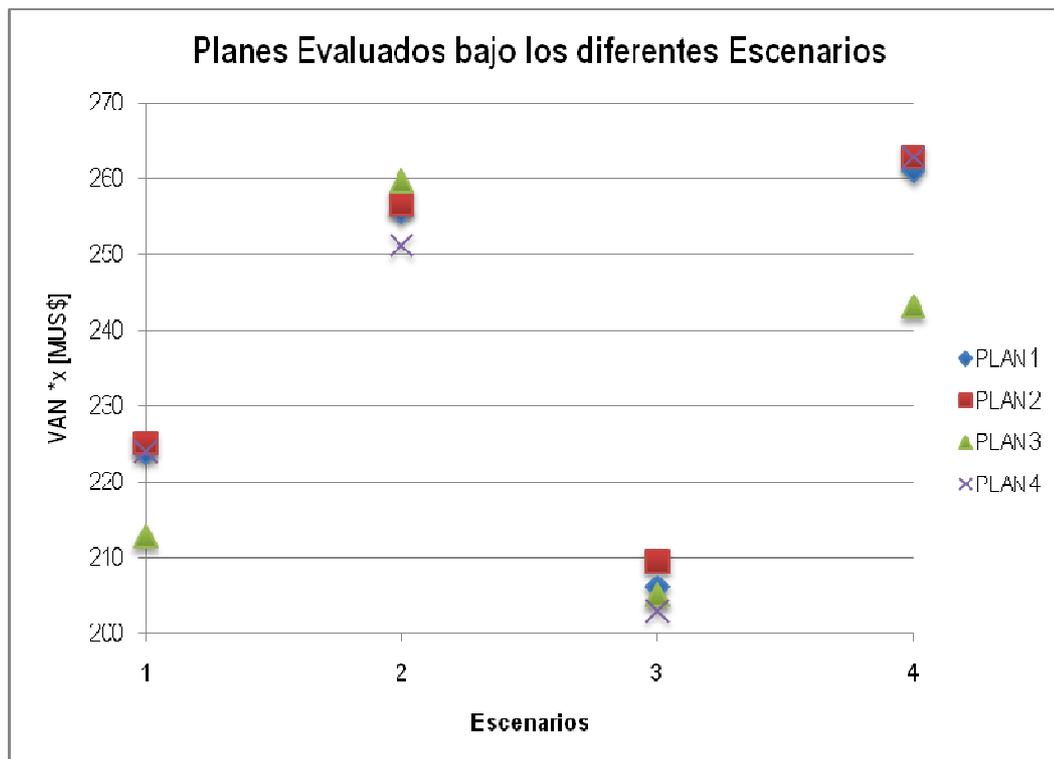


**Gráfico 45: Comparación flujos de caja anuales entre planes. Precios del cobre por escenario.**

Del gráfico se desprende que, obviamente, los flujos de caja por cada periodo siguen la tendencia de la curva de precio que corresponde a cada plan. Y el único plan que presenta flujos negativos es el cuarto, que los alcanza en los periodos donde su curva presenta los menores precios.

	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3	Escenario 4
Plan 1	3,357	3,833	3,092	3,914
Plan 2	3,378	3,848	3,144	3,941
Plan 3	3,193	3,895	3,078	3,647
Plan 4	3,360	3,768	3,045	3,941

**Tabla 47: VAN obtenido de la evaluación con los distintos escenarios para cada plan**



**Gráfico 46: Planes Evaluados bajo los diferentes escenarios de precios del cobre**

De la tabla y gráfico anterior, se desprende que en general, se obtienen mejores VAN al evaluar los planes con la curva de precios dada por el escenario 4, que corresponde al que presenta los mejores precios al principio del periodo. Y se obtiene el VAN más bajo al evaluar los planes con el escenario 3 de precios que corresponde a aquel que presenta los precios más bajos al principio del periodo de planificación. Obteniéndose en promedio, un VAN 20% mayor al evaluar los planes con el escenario 4 de precios que con el escenario 3.

Lo anterior se explica a través de la tasa de actualización, ya que al tener mejores precios al principio del periodo, la influencia que tendrán sobre el VAN es mucho mayor a la que tienen esos mismos precios ubicados más adelante en el tiempo.

Al evaluar los planes con los precios establecidos por el escenario 1 (OCC 2010), no es mucho lo que se puede decir, ya que a pesar de presentar valores diferentes todos entre sí. La diferencia es mínima, 0.6% al comparar el segundo plan con el plan base (plan 1) y 0.1% al comparar el plan 4 con el plan 1. De la comparación del plan 3 con el 1, se observa que la diferencia es de un 5% (menor el plan 3), esto es debido a que el plan 3, dado el escenario de precios que se utilizó en su confección, posterga las mejores leyes para los años finales. Luego,

por efecto de la tasa de actualización, las ganancias disminuyen mientras más lejos en el tiempo se extraiga el mineral.

Por otro lado, si se planificara de acuerdo al plan 1 (en base al escenario 1 de precios), y se diera el escenario 2 de precios, el VAN aumentaría en un 12.4%; si se diera una curva de precios del cobre como la del escenario 3, el VAN sería un 8.6% menor; y si se diera un escenario de precios como el 4, el VAN aumentaría en un 14.2%. Por lo tanto, si se tiene una curva de precios que presente los mayores valores al principio del periodo, el plan 1 resulta ser un buen plan, considerando el VAN como criterio.

Ahora bien, si se planificara de acuerdo al plan 2 (en base al escenario 2), y se diera en el largo plazo, una curva de precios como la de los escenarios 1 o 3, se obtendría un VAN un 14% y un 22.4% menor respectivamente. Y solo aumentaría el VAN en un 2.4% si se diera un escenario de precios como el 4. Aunque los valores del VAN que se obtienen, para los cuatro casos, son siempre mayores que los valores del VAN obtenidos por el primer plan. Por lo tanto, el plan 2 resulta ser en todos los casos evaluados, un plan más robusto que el primero, ya que responde mejor bajo todos los escenarios de precios con los que se evaluó.

El tercer plan, resultaría tener siempre un VAN mayor al obtenido con el escenario de precios para el cual se confeccionó, si en el largo plazo se dieran precios como los de los escenarios 1, 2 y 4; aumentando en un 3.6%, 21% y 15.6% respectivamente. Pero a pesar de ello, los VAN obtenidos de dichas evaluaciones, resultan ser menores que los VAN obtenidos al evaluar los planes 1 y 2 bajo los mismos escenarios de precios. A excepción de la evaluación con los precios del escenario 2, donde se obtienen un VAN de alrededor de un 1% mayor para el tercer plan. Luego, considerando el VAN como criterio, los planes 1 y 2 resultan responder mejor a los escenarios de precio del cobre planteados que el plan 3.

En el caso del cuarto plan, el VAN obtenido al evaluarlo con los escenarios 1,2 y 3, resultan ser siempre menores al VAN obtenido en caso de darse el escenario para el cual fue confeccionado; siendo un 17.3%, 4.6% y 29.4% menores respectivamente. Al comparar el VAN obtenido de las evaluaciones del plan 4 con las de los otros tres planes, se obtiene que solo es considerablemente mayor para el de evaluarlo con los precios del escenario 4; para el resto de los casos, siempre el VAN resulta ser inferior. En síntesis, el plan 4 es uno de los que presenta el mayor VAN (junto con el plan 2 evaluado bajo el escenario 4), pero solo para el caso de darse el escenario de precios para el cual fue confeccionado. Luego, no es un plan robusto, ya que al evaluarlo bajo cualquier otro de los escenarios planteados, se obtiene un menor VAN; lo mismo ocurre al comparar dichas evaluaciones con las obtenidas de los planes 1,2 y 3.

En conclusión, si se considera el VAN como criterio para realizar la comparación entre los planes y dados los escenarios de precios seleccionados; se obtiene que el plan más robusto,

resulta ser el segundo. Ya que es el que mejor responde ante las variaciones del precio del cobre propuestas por cada escenario.

Dado lo anterior, se tiene que es insuficiente realizar un plan de largo plazo en base a solo un escenario de precios, sobre todo en el caso de que se utilice una curva de precios del cobre muy conservadora (como es el caso de CODELCO). Luego, es recomendable realizar diferentes planes, utilizando escenarios de precios diferentes y a partir de allí, barajar un conjunto de opciones, donde al momento de seleccionar el plan más conveniente, la robustez sea un de los puntos a considerar.

## CAPITULO 6: Conclusiones

De la planificación realizada para el periodo de tiempo comprendido desde el año 2004 hasta el 2009 se concluye lo siguiente:

- En cuanto al secuenciamiento minero, la forma de explotar las fases varía de acuerdo al criterio adoptado para confeccionar el plan.
- Para el caso del plan 2, donde se utiliza el criterio de extraer las mejores leyes de cobre cuando el precio de este es mayor, lo que ocurre es que en aquellas fases que están formadas por un porcentaje mayor de estéril que de mineral en los bancos mas superficiales; la extracción de la fase aumenta durante los primeros años, con el objeto de alcanzar el mineral con buenas leyes de cobre en los años posteriores donde el precio del cobre es mayor. Por otro lado, para el caso de las fases que tienen un porcentaje considerable de mineral en los bancos superiores, la extracción en ésta se posterga, dejando mineral con buenas leyes de cobre para los años donde el precio es mayor.
- Respecto al plan 3, que es aquel confeccionado en base al criterio de postergar los desarrollos, extrayendo el mínimo estéril posible para alcanzar a cumplir con el mineral requerido por la planta concentradora y asegurar el mineral para los años posteriores. Lo que sucede al analizar la extracción por fase, es exactamente lo contrario a lo que sucede con el plan 2. Es decir, para aquellas fases que están compuestas por un gran porcentaje de estéril en los bancos superiores, la extracción es menor durante los primeros años, es la justa para poder cumplir con los requerimientos de la planta en los años posteriores. En cambio, para aquellas fases que presentan mineral en los bancos más superficiales, aumenta su extracción durante los primeros años.
- En relación a la evaluación económica realizada a los tres planes, al comparar el VAN obtenido de evaluar los planes con los precios reales del cobre para el periodo comprendido del año 2004 al 2009. Se obtuvo que el segundo plan, obtuvo un VAN un 2.4% mayor que el VAN obtenido por el plan base, y el tercer plan obtuvo un VAN un 2.1% menor que el obtenido por el plan base.

- Al evaluar los tres planes con los precios dados por la Orientaciones Comerciales de CODELCO Norte del año 2004. Se tiene que el VAN obtenido por el segundo plan es un 5.5% mayor que el VAN del plan base. Y el tercer plan, nuevamente obtiene el menor VAN, resultando ser un 3.6% menor que el VAN del plan base.
- Por lo tanto, utilizando el VAN como parámetro de comparación, se tiene que el mejor criterio es planificar extrayendo las mejores leyes de mineral durante los periodos donde el precio del cobre es mayor. Y la peor metodología resulta ser aquella que planifica postergando desarrollos.

Las conclusiones que se obtienen a partir de los cuatro planes confeccionados para el periodo de tiempo a partir del año 2010, son las siguientes:

- Las diferencias en la secuencia de extracción para cada plan vienen dadas de acuerdo al escenario de precios para el cual se confeccionó cada uno. Esto se explica porque se está utilizando el criterio de explotar los minerales con mejores leyes durante el periodo de tiempo en que los precios del cobre sean mayores. Luego, dependiendo del precio y las características de las fases, se disminuirá o aumentará la extracción en cada una de ellas.
- Para el caso del plan confeccionado en base al escenario 2 de precios, se priorizó extraer el mineral al comienzo del periodo, ya que es ahí donde el vector presenta los mayores precios del cobre y comienzan a disminuir en los años posteriores.
- El secuenciamiento minero para el plan realizado con el escenario 3 de precios, contempla postergar la extracción en aquellas fases donde el mineral presenta buenas leyes de cobre y aumentar la extracción durante los primeros años, de aquellas fases que presentan estéril en los bancos superiores o que tienen una ley de cobre más baja (como es el caso de la fase 49).
- Al confeccionar el plan basándose en los precios del escenario 4, el secuenciamiento minero apunta a extraer el mineral con mejores leyes de cobre durante el primer periodo, ya que ahí se presentan los mayores precios. Por lo tanto, durante los primeros años, se

extrae mineral de aquellas fases donde las leyes de cobre son mayores y se posterga la extracción en aquellas cuyos bancos superiores presentan mayor porcentaje de estéril o mineral con bajas leyes de cobre.

- De la evaluación económica de los cuatro planes. Resulta que el que entrega un mejor VAN, es el confeccionado bajo el escenario de precios obtenido de linealizar el vector entregado por las Orientaciones Comerciales 2010. Dicho plan, resulta ser mejor, incluso en el caso de no darse el escenario de precios para el cual fue confeccionado.
- Al momento de optar por un determinado plan de largo plazo, es importante considerar la robustez que éste presenta. Para ello, no basta con planificar considerando solo un escenario posible de precios. Sino que, es necesario realizar diferentes planes en base a diferentes vectores de precio del cobre y manejar así un conjunto de opciones, dentro de las cuales se posible observar cómo se comporta cada plan frente a las diferentes curvas de precio.

Dadas las conclusiones anteriores, se tiene además que:

- El precio del cobre tiene un fuerte impacto en el valor del negocio.
- Un factor importante a tener en consideración al confeccionar un plan, es el costo de oportunidad. Y cuanto influye en el valor del negocio, el extraer una cantidad determinada de mineral en la actualidad o postergarla por unos años.
- La productividad de las fases de Mina Chuquicamata, se convierte en una gran limitante al momento de confeccionar diferentes planes. Esto explica los bajos valores obtenidos en los delta de VAN entre las evaluaciones de los planes realizados.
- Una condicionante, al momento de buscar planes diferentes en función de los distintos criterios y escenarios planteados, es la necesidad de cumplir con los requerimientos de la planta concentradora, que exige enviar una determinada cantidad de mineral por año que debe ser cumplida.
- Dada la incertidumbre que presenta el precio del cobre de largo plazo, se requiere realizar diversos planes y evaluarlos con distintos escenarios de precios, a modo de determinar

cuál será el que mejor responderá ante las diferentes curvas de precio. Es decir, poder establecer que tan robusto es cada uno de ellos.

## **6.1. Consideraciones**

- CODELCO es una empresa del estado, por lo tanto no solo busca maximizar el valor del negocio, las políticas de empresa que marcan las directrices de la estrategia a seguir, ciertamente se ven influenciadas por factores que son de interés a nivel nacional.
- Hay que tener en consideración, que todos los planes se confeccionaron bajo supuestos fuertes, como no incluir la entrada de Chuquicamata Subterránea; considerar el aporte de Radomiro Tomic como un stock de mineral de ley fija; además, no se consideraron inversiones.
- Al considerar el aporte de Mina Radomiro Tomic como un stock de ley fija de 0.6% de cobre, se produce una reducción en la ley del mineral que alimenta la planta concentradora; debido a que las leyes de Radomiro Tomic son inferiores a las de Mina Chuquicamata. Pero su aporte es necesario para entregar mayor holgura al momento de planificar.

## **6.2. Recomendaciones**

- Se recomienda considerar el criterio de planificar extrayendo las mejores leyes de mineral en aquellos periodos de tiempo donde el precio del cobre el mayor.
- Se recomienda realizar varios planes de largo plazo considerando diferentes escenarios de precios, además del entregado por las Orientaciones Comerciales de CODELCO. Con el fin de obtener un conjunto de opciones dentro de las cuales se pueda determinar que tan robusto es cada uno de ellos.

- Si se cuenta con el diseño de las fases, se recomienda utilizar la metodología planteada en el capítulo 3, para generar a partir de ellas los pits anidados que permitan realizar los planes utilizando Whittle.

## Bibliografía

- Abril 2009. Minería Chilena
- Nicolás Majluf, abril 2009. Reflexiones y Comentarios sobre la Estrategia en la Empresa Minera del Cobre
- Marzo 2006. Strategic versus Tactical Approaches in Mining, Proceedings of the Second International Seminar on Strategic versus Tactical Approaches in Mining, Australia
- G.L. Smith, J. Pearson- Taylor, 2006. Alignment of capital investment and strategic intent – Challenges at response at Anglo Platinium.
- P. L. McCarthy, 2006. Beyond the Feasibility Study – Mine Optimization in the Real World.
- B. E. Hall, 2006. Short Term gain for Long Term pain.
- Erik Heimlich, 2008. Proyección del Precio del cobre de largo plazo, COCHILCO.
- 2004, Plan de Negocios y Desarrollo Divisional CODELCO Norte.
- 2010, Plan de Negocios y Desarrollo Divisional CODELCO Norte.
- Antecedentes Económicos y Comerciales para planificación 2004, CODELCO
- Antecedentes Económicos y Comerciales para planificación 2010, CODELCO

## ANEXO A: Cubicación Fases por banco

FIJO		SBL y OBL		A Concentradora			estéril [t]	mineral total [t]
		mineral [t]	ley Cu [%]	mineral [t]	ley Cu [%]	ley Mo [%]		
fase 39	65	0	0.33	4,343,096	1.199	0.079	0	4,343,096
	66	7,060	0.33	4,677,602	1.328	0.079	0	4,684,662
	67	0	0.33	2,106,902	1.172	0.078	0	2,106,902
	68	0	0.33	1,416,836	0.987	0.072	0	1,416,836
fase 40	49	533,360	0.33	67,743	0.485	0.006	505,735	1,106,838
	50	1,450,685	0.33	3,326,309	0.799	0.052	1,869,516	6,646,510
	51	1,292,120	0.33	7,104,997	0.866	0.054	1,764,098	10,161,215
	52	776,805	0.33	7,849,550	0.931	0.053	833,532	9,459,887
	53	564,238	0.33	7,695,264	0.952	0.054	519,069	8,778,571
	54	262,500	0.33	7,601,816	0.98	0.05	372,950	8,237,265
	55	172,808	0.33	7,869,787	1.016	0.048	106,605	8,149,200
	56	175,618	0.33	6,825,734	0.972	0.051	11,128	7,012,480
	57	64,597	0.33	6,479,535	0.962	0.054	0	6,544,132
	58	3,896	0.33	6,142,750	0.936	0.057	0	6,146,646
	59	3,335	0.33	5,626,074	0.949	0.055	0	5,629,409
	60	0	0.33	5,573,426	0.965	0.051	0	5,573,426
	61	0	0.33	5,449,848	0.937	0.058	0	5,449,848
	62	0	0.33	4,752,726	0.911	0.061	0	4,752,726
	63	0	0.33	4,125,933	0.926	0.06	0	4,125,933
	64	0	0.33	3,557,502	0.957	0.05	0	3,557,502
	65	0	0.33	3,170,046	0.929	0.048	0	3,170,046
	66	10,917	0.33	2,408,171	0.914	0.038	0	2,419,088
	67	0	0.33	2,256,385	1.028	0.033	0	2,256,385
	68	0	0.33	1,667,594	1.061	0.057	0	1,667,594
69	0	0.33	1,698,159	0.867	0.042	0	1,698,159	
70	0	0.33	356,800	0.778	0.027	0	356,800	

FIJO	SBL y OBL		A Concentradora			estéril [t]	mineral total [t]	
	mineral [t]	ley Cu [%]	mineral [t]	ley Cu [%]	ley Mo [%]			
fase 47A	46	368	0.33	2,560	0.559	0.007	3,345,167	3,348,095
	47	22,378	0.33	32,438	0.71	0.012	7,635,700	7,690,516
	48	186	0.33	87,502	0.691	0.012	7,963,100	8,050,788
	49	0	0.33	216,885	0.691	0.018	8,391,550	8,608,435
	50	0	0.33	295,498	0.734	0.022	8,470,222	8,765,720
	51	10,601	0.33	368,689	0.788	0.028	7,898,349	8,277,639
	52	20,955	0.33	618,838	0.861	0.039	7,788,415	8,428,208
	53	12,718	0.33	782,700	0.918	0.046	7,174,958	7,970,376
	54	12,034	0.33	1,027,339	1.04	0.054	6,338,655	7,378,028
	55	146,632	0.33	1,393,952	1.091	0.059	5,316,148	6,856,733
	56	84,758	0.33	2,007,761	1.198	0.054	3,738,136	5,830,655
	57	65,144	0.33	2,769,044	1.248	0.065	2,906,627	5,740,815
	58	75,057	0.33	3,935,687	1.202	0.063	1,877,253	5,887,997
	59	79,287	0.33	3,861,862	1.274	0.072	920,213	4,861,362
	60	18,058	0.33	4,632,618	1.335	0.081	226,342	4,877,018
	61	932	0.33	4,850,318	1.373	0.094	7,817	4,859,068
	62	0	0.33	4,376,776	1.392	0.104	0	4,376,776
	63	0	0.33	4,590,540	1.36	0.11	0	4,590,540
	64	0	0.33	3,850,570	1.348	0.11	0	3,850,570
	65	0	0.33	3,678,522	1.35	0.111	0	3,678,522
	66	10,960	0.33	2,870,379	1.235	0.094	0	2,881,339
67	0	0.33	2,795,095	1.256	0.096	0	2,795,095	
68	0	0.33	1,845,898	1.288	0.113	0	1,845,898	
69	0	0.33	1,245,868	1.103	0.104	0	1,245,868	
70	0	0.33	1,275,750	0.908	0.068	0	1,275,750	

FIJO	SBL y OBL		A Concentradora			estéril [t]	mineral total [t]	
	mineral [t]	ley Cu [%]	mineral [t]	ley Cu [%]	ley Mo [%]			
fase 41	41	132,206	0.33	0	0	0	1,022,595	1,154,801
	42	936,517	0.33	2,203	0.447	0.008	4,947,126	5,885,846
	43	1,420,468	0.33	37,173	0.498	0.007	6,199,608	7,657,249
	44	1,298,749	0.33	67,903	0.452	0.007	6,219,329	7,585,981
	45	1,433,027	0.33	78,862	0.464	0.005	5,935,599	7,447,488
	46	1,495,837	0.33	153,338	0.467	0.005	6,339,880	7,989,055
	47	1,496,804	0.33	289,858	0.457	0.005	5,929,411	7,716,073
	48	1,356,409	0.33	179,703	0.537	0.009	5,471,408	7,007,519
	49	1,140,797	0.33	268,074	0.574	0.006	5,422,102	6,830,973
	50	1,151,927	0.33	355,309	0.529	0.004	5,378,236	6,885,472
	51	1,862,219	0.33	573,847	0.532	0.004	5,054,421	7,490,486
	52	2,152,118	0.33	924,504	0.626	0.005	4,710,115	7,786,738
	53	2,512,137	0.33	1,294,999	0.743	0.011	4,098,565	7,905,700
	54	2,939,885	0.33	1,387,839	0.757	0.008	2,921,021	7,248,746
	55	3,233,342	0.33	1,911,489	0.731	0.007	1,889,042	7,033,872
	56	2,896,895	0.33	2,770,559	0.732	0.007	1,481,402	7,148,856
	57	2,404,498	0.33	3,413,000	0.742	0.006	1,133,375	6,950,873
	58	1,918,202	0.33	4,152,630	0.762	0.006	872,001	6,942,833
	59	1,707,186	0.33	4,763,607	0.797	0.007	564,414	7,035,207
	60	1,183,618	0.33	5,109,465	0.827	0.007	376,141	6,669,224
	61	472,877	0.33	5,403,860	0.858	0.009	345,687	6,222,424
	62	420,304	0.33	5,794,164	0.84	0.015	57,099	6,271,567
	63	160,763	0.33	5,946,007	0.865	0.02	4,190	6,110,960
	64	71,126	0.33	6,129,176	0.907	0.032	0	6,200,302
	65	110,840	0.33	6,025,208	0.899	0.03	0	6,136,048
	66	26,321	0.33	6,024,054	0.906	0.022	0	6,050,375
	67	36,566	0.33	6,349,106	0.928	0.023	0	6,385,672
	68	0	0.33	6,154,646	0.963	0.037	0	6,154,646
	69	0	0.33	6,009,944	1.023	0.043	0	6,009,944
	70	0	0.33	6,200,453	0.959	0.042	0	6,200,453
	71	0	0.33	5,267,851	0.868	0.03	0	5,267,851
	72	0	0.33	4,458,667	0.869	0.027	0	4,458,667
	73	0	0.33	2,460,581	0.811	0.02	0	2,460,581
	74	0	0.33	1,674,179	0.819	0.02	0	1,674,179

FIJO	SBL y OBL		A Concentradora			estéril [t]	mineral total [t]	
	mineral [t]	ley Cu [%]	mineral [t]	ley Cu [%]	ley Mo [%]			
fase 47B	41	0	0.33	0	0	0	391,467	391,467
	42	0	0.33	0	0	0	3,879,998	3,879,998
	43	0	0.33	0	0	0	5,968,734	5,968,734
	44	0	0.33	0	0	0	6,451,737	6,451,737
	45	0	0.33	0	0	0	6,570,106	6,570,106
	46	0	0.33	0	0	0	6,571,641	6,571,641
	47	0	0.33	0	0	0	6,135,729	6,135,729
	48	0	0.33	0	0	0	5,773,382	5,773,382
	49	0	0.33	0	0	0	5,854,395	5,854,395
	50	0	0.33	0	0	0	6,093,597	6,093,597
	51	0	0.33	0	0	0	5,877,186	5,877,186
	52	0	0.33	0	0	0	5,788,192	5,788,192
	53	0	0.33	0	0	0	5,928,550	5,928,550
	54	0	0.33	0	0	0	5,790,347	5,790,347
	55	0	0.33	0	0	0	5,791,888	5,791,888
	56	0	0.33	0	0	0	6,079,887	6,079,887
	57	0	0.33	0	0	0	6,046,154	6,046,154
	58	0	0.33	0	0	0	6,075,354	6,075,354
	59	6,268	0.33	0	0	0	6,435,658	6,441,927
	60	22,126	0.33	40,938	0.629	0.034	6,261,662	6,324,726
	61	49,145	0.33	356,592	0.822	0.09	5,457,829	5,863,566
	62	65,602	0.33	1,050,150	0.841	0.098	4,661,634	5,777,386
	63	63,749	0.33	1,721,948	0.929	0.106	3,561,110	5,346,808
	64	44,416	0.33	2,371,444	0.955	0.09	2,268,237	4,684,097
	65	29,478	0.33	2,727,722	0.996	0.074	1,257,810	4,015,010
	66	9,758	0.33	2,695,494	1.107	0.068	420,174	3,125,426
	67	4,720	0.33	2,724,538	1.277	0.069	32,349	2,761,607
	68	0	0.33	2,574,576	1.377	0.092	0	2,574,576
	69	0	0.33	3,015,283	1.402	0.116	0	3,015,283
	70	0	0.33	2,618,416	1.383	0.12	0	2,618,416
	71	0	0.33	2,657,124	1.358	0.108	0	2,657,124
	72	0	0.33	2,465,251	1.385	0.103	0	2,465,251

FIJO		SBL y OBL		A Concentradora			estéril [t]	mineral total [t]
		mineral [t]	ley Cu [%]	mineral [t]	ley Cu [%]	ley Mo [%]		
fase 38 SC	32	49,494	0.33	0	0	0	1,038,889	1,097,308
	33	756,667	0.33	0	0	0	1,558,710	2,336,654
	34	1,986,067	0.33	0	0	0	500,244	2,873,351
	35	622,434	0.33	0	0	0	519,630	2,856,814
	36	443,043	0.33	128,047	0.816	0.015	450,957	2,642,516
	37	768,332	0.33	258,544	0.828	0.012	638,267	2,778,437
	38	1,309,333	0.33	357,593	0.82	0.012	778,885	2,944,650
	39	1,174,308	0.33	467,512	0.992	0.014	855,252	2,620,304
	40	1,086,741	0.33	660,469	1.358	0.016	931,872	2,679,082
	41	489,845	0.33	883,208	1.504	0.022	957,856	2,330,909
	42	345,655	0.33	976,866	1.479	0.026	630,124	1,952,644
	43	242,519	0.33	1,084,826	1.273	0.026	447,684	1,775,029
	44	227,088	0.33	921,298	1.222	0.028	187,026	1,335,412
	45	171,390	0.33	754,950	1.072	0.035	76,738	1,003,078
	46	69,702	0.33	756,870	0.916	0.047	19,444	846,016
	47	31,438	0.33	381,926	0.807	0.054	1,792	415,156
fase 38 SD	31	0	0.33	0	0	0	78,924	78,924
	32	0	0.33	0	0	0	1,516,034	1,516,034
	33	3,470	0.33	0	0	0	3,019,533	3,025,047
	34	1,013,578	0.33	0	0	0	2,170,090	3,345,245
	35	655,878	0.33	0	0	0	1,991,814	3,403,600
	36	331,765	0.33	2,427	0.557	0.008	2,908,204	4,211,260
	37	518,144	0.33	36,132	0.573	0.01	3,867,440	5,140,877
	38	561,082	0.33	85,092	0.708	0.012	5,115,254	6,132,834
	39	554,970	0.33	167,840	1.061	0.014	5,493,349	6,288,110
	40	212,325	0.33	635,920	1.561	0.02	5,580,423	6,428,668
	41	297,437	0.33	834,955	1.819	0.024	5,450,227	6,582,620
	42	347,850	0.33	781,582	1.679	0.025	5,054,903	6,184,334
	43	434,022	0.33	776,989	1.401	0.021	5,058,420	6,269,431
	44	460,994	0.33	880,150	1.089	0.019	4,946,272	6,287,416
	45	532,896	0.33	1,035,444	0.859	0.022	4,304,357	5,872,697
	46	763,994	0.33	1,203,862	0.769	0.026	4,302,692	6,270,548
	47	773,133	0.33	1,630,264	0.725	0.036	3,920,017	6,323,414
	48	753,001	0.33	1,823,341	0.711	0.045	3,279,704	5,856,046
	49	763,061	0.33	1,782,060	0.707	0.04	2,997,557	5,542,678
	50	846,324	0.33	1,698,223	0.728	0.038	2,771,896	5,316,443
	51	758,246	0.33	1,943,154	0.785	0.036	2,284,377	4,985,776
	52	636,332	0.33	2,464,652	0.825	0.036	1,727,746	4,828,730
	53	395,307	0.33	2,743,114	0.823	0.037	1,115,189	4,253,611
	54	196,181	0.33	2,702,502	0.856	0.046	669,725	3,568,408
55	23,795	0.33	2,493,169	0.896	0.056	491,918	3,008,882	
56	27,742	0.33	2,150,784	0.925	0.061	329,272	2,507,797	
57	24,828	0.33	1,671,875	0.933	0.081	102,107	1,798,810	
58	8,924	0.33	1,219,497	0.89	0.094	22,951	1,251,373	
59	57,381	0.33	887,484	0.805	0.096	1,532	946,397	
60	10,953	0.33	87,558	0.764	0.094	0	98,511	

FIJO		SBL y OBL		A Concentradora			estéril [t]	mineral total [t]
		mineral [t]	ley Cu [%]	mineral [t]	ley Cu [%]	ley Mo [%]		
fase 42	19	0	0.33	0	0	0	55,948	56,101
	20	26,905	0.33	0	0	0	108,040	523,995
	21	95,163	0.33	0	0	0	1,269,523	1,731,642
	22	157,874	0.33	0	0	0	1,436,002	1,985,786
	23	146,679	0.33	0	0	0	1,506,800	2,533,245
	24	387,753	0.33	0	0	0	2,334,741	4,625,398
	25	767,982	0.33	11,559	0.522	0.003	3,158,486	5,745,279
	26	1,267,339	0.33	12,414	0.569	0.002	3,934,253	6,868,528
	27	1,585,362	0.33	159,983	0.553	0.003	3,822,657	6,909,701
	28	1,951,509	0.33	404,512	0.53	0.003	4,151,757	7,446,800
	29	2,260,699	0.33	722,569	0.515	0.004	5,084,140	8,520,328
	30	2,896,268	0.33	1,073,772	0.497	0.004	5,377,809	9,458,941
	31	3,433,165	0.33	1,336,185	0.505	0.005	5,395,796	10,231,727
	32	3,603,990	0.33	2,015,594	0.521	0.006	5,329,878	11,005,938
	33	3,775,119	0.33	2,313,321	0.582	0.007	4,796,293	10,884,734
	34	3,298,014	0.33	2,656,318	0.581	0.009	4,700,771	10,655,103
	35	3,022,024	0.33	2,823,902	0.546	0.01	5,495,273	11,341,198
	36	3,248,524	0.33	2,460,234	0.503	0.012	6,234,619	11,943,377
	37	3,206,637	0.33	2,668,032	0.473	0.012	6,911,539	12,786,208
	38	3,131,196	0.33	3,254,174	0.471	0.011	7,268,680	13,654,050
	39	3,222,274	0.33	4,003,511	0.483	0.012	6,569,890	13,795,676
	40	2,892,266	0.33	4,833,814	0.506	0.011	6,355,564	14,081,644
	41	2,283,230	0.33	5,701,068	0.527	0.011	6,193,353	14,177,651
	42	1,905,836	0.33	5,775,316	0.535	0.013	5,774,808	13,455,960
	43	1,663,517	0.33	5,750,230	0.567	0.015	5,723,306	13,137,054
	44	1,502,563	0.33	6,192,480	0.609	0.017	5,887,775	13,582,818
	45	1,183,622	0.33	6,635,828	0.632	0.018	5,603,168	13,422,618
	46	752,223	0.33	6,952,281	0.645	0.017	5,615,924	13,320,428
	47	711,734	0.33	7,056,962	0.674	0.016	5,815,270	13,583,966
	48	753,088	0.33	7,352,766	0.685	0.022	5,557,207	13,663,062
	49	753,126	0.33	7,295,240	0.675	0.024	5,432,431	13,480,797
	50	755,096	0.33	7,051,626	0.667	0.026	5,636,770	13,443,492
	51	518,033	0.33	6,795,380	0.675	0.029	5,504,837	12,818,250
	52	310,403	0.33	6,982,249	0.696	0.031	5,419,933	12,712,585
	53	252,923	0.33	7,374,279	0.709	0.033	5,337,842	12,965,044
	54	150,265	0.33	7,905,331	0.73	0.036	4,780,474	12,836,069
	55	143,435	0.33	8,385,977	0.739	0.037	4,020,998	12,550,410
	56	291,646	0.33	8,895,992	0.785	0.037	3,606,945	12,794,583
	57	447,645	0.33	8,561,886	0.856	0.036	3,075,024	12,084,555
	58	212,783	0.33	8,936,567	0.906	0.035	2,688,598	11,837,948
	59	261,928	0.33	9,467,152	0.961	0.037	2,043,923	11,773,003
	60	186,743	0.33	9,245,071	1.025	0.041	1,485,737	10,917,551
61	171,599	0.33	9,036,976	1.097	0.047	1,032,928	10,241,503	
62	137,094	0.33	9,424,773	1.099	0.058	508,166	10,070,033	
63	271,698	0.33	9,213,231	1.062	0.065	154,073	9,639,002	

FIJO		SBL y OBL		A Concentradora			estéril [t]	mineral total [t]
		mineral [t]	ley Cu [%]	mineral [t]	ley Cu [%]	ley Mo [%]		
fase 42	64	41,374	0.33	9,370,915	1.039	0.073	1,807	9,414,096
	65	0	0.33	9,175,621	1.071	0.074	0	9,175,621
	66	0	0.33	7,594,360	1.007	0.065	0	7,594,360
	67	0	0.33	7,397,130	0.976	0.061	0	7,397,130
	68	0	0.33	7,003,451	0.932	0.085	0	7,003,451
	69	51,714	0.33	6,603,104	0.964	0.091	0	6,654,818
	70	343,898	0.33	5,678,062	0.966	0.101	0	6,021,960
	71	93,947	0.33	5,727,649	0.875	0.064	18,558	5,840,154
	72	0	0.33	5,224,940	0.868	0.063	0	5,224,940
	73	0	0.33	5,216,881	0.858	0.056	0	5,216,881
	74	0	0.33	5,328,702	0.827	0.051	0	5,328,702
	75	0	0.33	5,363,372	0.785	0.034	0	5,363,372
	76	0	0.33	4,312,168	0.751	0.029	0	4,312,168
	77	0	0.33	2,266,608	0.679	0.026	0	2,266,608
	78	0	0.33	1,556,174	0.605	0.023	0	1,556,174
79	0	0.33	472,242	0.517	0.021	0	472,242	
fase 53	22	0	0.33	0	0	0	170,389	170,389
	23	0	0.33	0	0	0	1,293,718	1,293,718
	24	0	0.33	0	0	0	2,401,464	2,401,464
	25	0	0.33	0	0	0	2,871,844	2,871,844
	26	0	0.33	0	0	0	3,644,244	3,644,244
	27	0	0.33	0	0	0	4,783,957	4,783,957
	28	0	0.33	0	0	0	5,237,110	5,237,110
	29	0	0.33	0	0	0	5,532,432	5,532,432
	30	0	0.33	0	0	0	5,528,988	5,528,988
	31	0	0.33	0	0	0	6,052,224	6,052,224
	32	0	0.33	0	0	0	6,735,943	6,735,943
	33	0	0.33	0	0	0	7,205,947	7,205,947
	34	0	0.33	0	0	0	6,614,150	6,614,150
	35	0	0.33	0	0	0	6,623,534	6,623,534
36	0	0.33	0	0	0	351,056	351,056	

FIJO		SBL y OBL		A Concentradora			estéril [t]	mineral total [t]
		mineral [t]	ley Cu [%]	mineral [t]	ley Cu [%]	ley Mo [%]		
	100	0	0.33	0	0	0	554,404	0
	101	437,748	0.33	0	0	0	7,038,298	437,748
	102	1,585,856	0.33	0	0	0	12,083,029	1,585,856
	103	2,150,776	0.33	0	0	0	11,029,322	2,150,776
	104	2,685,837	0.33	260,699	1.066	0.001	7,160,073	2,946,536
	105	3,321,781	0.33	608,290	0.995	0.002	7,101,294	3,930,071
	106	3,637,136	0.33	1,146,095	0.841	0.002	7,001,884	4,783,231
	107	3,793,937	0.33	1,825,755	0.723	0.003	7,608,997	5,619,692
	108	4,768,732	0.33	2,352,125	0.675	0.005	8,011,338	7,120,857
	109	4,978,653	0.33	2,780,431	0.615	0.007	8,310,865	7,759,084
	110	5,037,088	0.33	2,954,978	0.562	0.007	8,872,103	7,992,066
	111	5,856,026	0.33	2,835,562	0.523	0.008	8,123,262	8,691,588
	112	5,849,731	0.33	3,352,894	0.513	0.007	7,013,638	9,202,625
	113	6,527,861	0.33	3,288,273	0.541	0.006	6,187,973	9,816,134
	114	6,268,810	0.33	3,706,194	0.582	0.007	5,780,864	9,975,004
	115	5,372,420	0.33	4,709,530	0.565	0.008	5,208,238	10,081,950
	116	5,644,874	0.33	5,057,290	0.542	0.011	4,737,269	10,702,164
	117	6,310,452	0.33	4,704,448	0.509	0.012	4,431,760	11,014,900
	118	6,664,185	0.33	3,901,281	0.496	0.01	4,060,755	10,565,466
	119	6,884,784	0.33	3,841,240	0.492	0.009	3,669,812	10,726,024
	120	6,469,898	0.33	3,993,519	0.488	0.01	4,050,076	10,463,417
	121	5,995,402	0.33	4,094,995	0.509	0.011	3,873,351	10,090,397
	122	5,239,367	0.33	5,110,880	0.522	0.013	3,336,928	10,350,247
	123	5,576,121	0.33	5,393,121	0.535	0.015	2,683,262	10,969,242
	124	5,003,258	0.33	5,457,431	0.552	0.016	2,360,540	10,460,689
	125	3,919,428	0.33	6,374,480	0.554	0.017	2,008,821	10,293,908
	126	3,100,069	0.33	6,853,702	0.554	0.014	2,082,952	9,953,771
	127	2,888,037	0.33	6,580,157	0.56	0.014	1,813,610	9,468,194
	128	1,761,420	0.33	3,249,818	0.567	0.017	904,315	5,011,238
	129	1,455,956	0.33	3,864,932	0.583	0.018	717,590	5,320,888
	130	2,534,003	0.33	6,225,087	0.575	0.016	1,073,228	8,759,090
	131	2,333,188	0.33	5,711,378	0.582	0.017	914,943	8,044,566
	132	1,758,162	0.33	5,811,640	0.578	0.017	492,865	7,569,802
	133	1,573,224	0.33	5,265,213	0.585	0.02	131,921	6,838,437
	134	1,473,753	0.33	4,708,214	0.621	0.021	107,707	6,181,967
	135	1,514,545	0.33	3,964,805	0.648	0.024	30,986	5,479,350
	136	1,352,835	0.33	3,747,858	0.652	0.018	24,905	5,100,693
	137	284,958	0.33	610,461	0.651	0.018	5,367	895,419
	138	498,214	0.33	3,563,003	0.664	0.017	0	4,061,217
	139	206,544	0.33	3,523,763	0.741	0.018	0	3,730,307
	140	82,170	0.33	3,488,258	0.773	0.019	0	3,570,428
	141	27,524	0.33	2,940,007	0.8	0.035	0	2,967,531
	142	42,055	0.33	2,987,393	0.807	0.039	0	3,029,448
	143	100,057	0.33	2,567,025	0.804	0.047	0	2,667,082
	144	0	0.33	2,624,696	0.829	0.035	0	2,624,696

FIJO		SBL y OBL		A Concentradora			estéril [t]	mineral total [t]
		mineral [t]	ley Cu [%]	mineral [t]	ley Cu [%]	ley Mo [%]		
<b>fase 49</b>	145	0	0.33	1,790,037	0.813	0.023	0	1,790,037
	146	0	0.33	1,910,830	0.837	0.025	0	1,910,830
	147	0	0.33	1,454,793	0.951	0.026	0	1,454,793
	148	0	0.33	1,548,583	1.009	0.03	0	1,548,583
	149	0	0.33	1,052,603	0.968	0.038	0	1,052,603
	150	186	0.33	1,011,296	0.893	0.041	0	1,011,482
	151	0	0.33	438,152	0.766	0.038	0	438,152
	152	0	0.33	370,344	0.749	0.042	0	370,344
<b>fase 50</b>	103	0	0.33	0	0	0	1,521,206	0
	104	0	0.33	0	0	0	7,137,436	0
	105	0	0.33	0	0	0	10,078,852	0
	106	0	0.33	0	0	0	10,185,180	0
	107	0	0.33	0	0	0	11,027,296	0
	108	0	0.33	0	0	0	11,642,767	0
	109	0	0.33	0	0	0	12,275,208	0
	110	0	0.33	0	0	0	11,998,543	0
	111	0	0.33	0	0	0	10,437,677	0
	112	0	0.33	0	0	0	9,368,187	0
	113	0	0.33	0	0	0	8,670,097	0
	114	0	0.33	0	0	0	8,110,126	0
	115	0	0.33	0	0	0	7,240,047	0
	116	0	0.33	0	0	0	6,277,836	0
117	0	0.33	0	0	0	5,515,395	0	
118	0	0.33	0	0	0	4,946,196	0	
119	0	0.33	0	0	0	4,270,124	0	
120	0	0.33	0	0	0	3,506,152	0	
121	0	0.33	0	0	0	209,140	0	